

TARTU ÜLIKOOL
LOODUS- JA TEHNOLOOGIATEADUSKOND
Tartu Ülikooli Tehnoloogiainstituut

Tõnis Paara

Puuvillaste paelte läike kvantitatiivne hindamine

Bakalaureusetöö

Juhendajad: PhD Tarmo Tamm

PhD Koit Muring

Kaitsmisele lubatud

Juhendaja

allkiri, kuupäev

Tartu 2013

Sisukord

1.	SISSEJUHATUS	3
2.	KIRJANDUSE ÜLEVAADE	5
2.1.	Läikivus.....	5
2.2.	Läikivuse mõõtmine.....	5
2.3.	Punatud puuvillased materjalid.....	10
2.4.	Paelte töötlemine	11
3.	EKSPERIMENTAALNE OSA	14
3.1.	Uuritavad paelad	14
3.2.	Katseseadme koostamine	15
3.3.	Kasutatud aparatuur ja vahendid	18
3.4.	Mõõtemetoodika	20
3.4.1.	Uuritavad paelad ning nende läikivus.....	22
3.4.2.	Küsitlus	31
3.5.	Tulemuste analüüs.....	31
4.	KOKKUVÕTE	37
5.	QUANTITATIVE EVALUATION OF GLOSS ON WAXED COTTON LACES....	38
6.	KASUTATUD KIRJANDUS	39
7.	LISAD.....	41

1. SISSEJUHATUS

Puuvill on üks kõige levinumaid looduslikke materjale, millest toodetud kiudusid kasutatakse nii õhukeste kleitide, raskete tööriiete kui ka näiteks kingapaelte valmistamisel. Enamikes rakendustes on tarbijale väga oluline kanga väljanägemine ja väga paljudel juhtudel on seega ka tootjale tähtis, et valmistoode oleks ilus ja läikiv. Kuigi üksikud puuvillakiud on hea läikivusega, ei tähenda see veel sugugi, et tuhandetest sellistest kiududest valmiv riie oleks väga läikiv.

Antud töö eesmärgiks on Haine paelavabrikus toodetavate puuvillaste saapa- ja kingapaelte kvaliteedi parandamiseks vajalike uuringute läbiviimine. Põhiliselt keskendus töö autor erinevate puuvillaste paelte visuaalsete omaduste, esmajoones läikivuse ja valgust peegeldavate omaduste kirjeldamisele.

Töö on üheks osaks TÜ Tehnoloogiainstituudi ja OÜ Haine paelavabriku ühisprojektist, mille eesmärgiks on parandada Haine paelavabriku vahatatud puuvillaste paelte visuaalset kvaliteeti. Vahatatud puuvillane pael peaks meenutama välimuselt nahariba, olema ühtlaselt läikiv, kuid samas piisavalt pehme, et seda oleks mugav siduda. On teada, et umbes 10 aastat tagasi Saksamaal toodetud paelad vastasid soovitud nõuetele, kuid sel ajal olid kasutusel ka teistsugused vahad, mida enam pole võimalik erinevatel põhjustel kasutada. Ühisprojekti eesmärgiks on välja töötada vahatamistehnoloogia, mis tagaks soovitud kvaliteedi.

Kui püüatakse midagi parandada, siis peab uus asi olema parem kui vana. Selle väljaselgitamiseks tuleb neid omavahel võrrelda. Saapapaelte läikivuse objektiivseks hindamiseks ei ole veel välja töötatud ühtegi levinud meetodit. Siiani Haine paelavabrikus kasutatud meetod on olnud visaalne vaatlus, kuid erinevate inimeste poolt antud hinnangud ei lange pahatihti kokku ning võivad ajas muutuda. Et objektiivselt võrrelda erinevaid paelu ja töötuse kvaliteeti, on vaja alati võrreldavaid ja usaldusväärseid tulemusi. Käesoleva töö eesmärk ongi luua reprodutseeritav meetoodika, mis mõõdaks erinevate saapapaelte läiget kvantitatiivselt ning võimaldaks neid omavahel võrrelda. Üks peamisi kriteeriume on, et see ühtiks visuaalsel vaatlusel saadud tulemustega.

Esimeseks etapiks oli luua reprodutseeritav meetod, mis suudaks objektiivselt kirjeldada paelalt peegeldunud valguse intensiivsust ja selle muutumist terve paela ulatuses.

Meetodi üheks põhiliseks eesmärgiks oli, et väljundiks oleks reaalselt võrreldav ja lihtsalt kirjeldatav numbriline suurus.

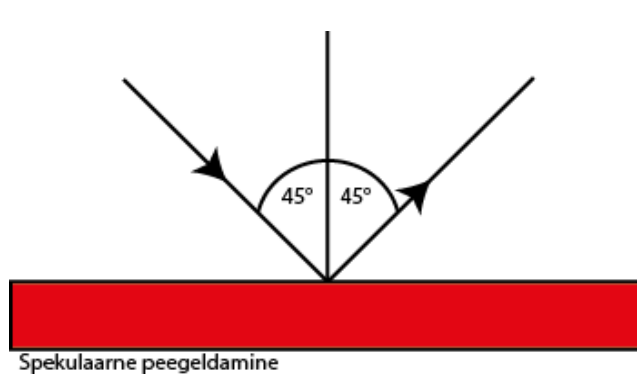
Teiseks etapiks oli erinevate omadustega (erinev jämedus, erinev punutis) paelte läikivuse mõõtmine ja saadud tulemuste teooriaga ühildumise kontrollimine. Praegune üldiselt kasutuses olev läike hindamine sõltub väga suurel määral hindajast, ümbritseva valguse suunast ja tüübist ning paljudest teistest raskesti kontrollitavatest teguritest.

2. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

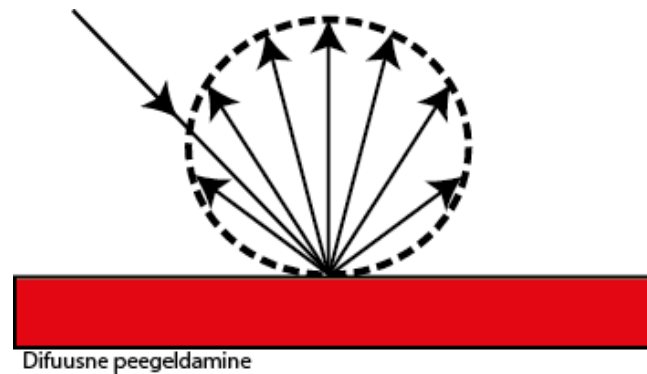
2.1. Läikivus

Vagluse peegeldumisel võib eristada hajus- ja spekuarset peegeldamist. Läikivus on mingi objekti omadus peegeldada valgust spekuarselt, ehk vastavalt peegeldumisseadusele. Peegeldumisseaduse kohaselt peavad olema langev ja peegeldunud kiir ühes tasandis ning langemis- ning peegeldumisenurgad võrdsed. [1]

Lähtudes sellisest definitsioonist on täiuslikult läikiva objekti etaloniks peegel, kuna see peaks teoorias kogu pealelangeva valguse peegeldama vastavalt peegeldumisseadusele. Seega, punktvalgusallikast peeglile risti suunatud kiire korral peegelduks kogu valgus tagasi valgusallikasse (Joonis 1). Täiuslikult matt keha oleks sellele vastupidine: kogu kehale langenud valgus peegeldatakse difuusselt, ehk igasse punkti ühtlase intensiivsusega (Joonis 2). Igapäevaobjektide seast võib spekuarse difuusse peegeldaja näitena kasutada valget kirjutuspaberit.[2]



Joonis 1. Spekuarne peegeldus



Joonis 2. Difuusne peegeldus

Paljudel juhtudel võrreldakse pindade läikivuse kirjeldamisel spekuarse ja difuusse peegelduse osakaalu ning selle alusel antakse hinnang pinna läikivusele. Peegeldunud valguse nii täpne lahterdamine toimib küll siledade pindade, näiteks värvi või keraamika korral, mis kuuluvad pigem kas väga hästi või väga halvasti peegeldavate hulka, vahepealsete omadustega pindade korral on eristamine palju keerulisem.[2]

2.2. Läikivuse mõõtmine

Kui vaatleja hindab mingi pinna läikivust, on saadav aisting põhjustatud kogu silma jõudnud valguse poolt. Hoides objekti valgusallika poole ja pöörates seda telje ümber, hindab vaatleja mitte ainult spekuarse nurga all peegeldunud valgust, mis kujutab

endast intensiivsemat vilksatust, vaid ka kõikide teiste nurkade all peegeldunud. Terviklik hinnang objekti läikele moodustub siiski kogu objekti üldmuljest. [2]

Tekstiili läikivust hakati uurima põhjalikumalt 1950. aastatel USA-s, Virginia osariigis Charlottesville'i tekstiilitehnoloogia uurimiskeskuses. Samal aastal välja antud artiklis [2] mainitakse, et kuigi läikivuse hindamiseks on töötatud välja mõned standardid, on seda tehtud ainult ühe materjalitüübi, värvide jaoks. Praegu, üle 60 aasta hiljem, on läike mõõtmise alal tehtud suuri edusamme, kuid seda jätkuvalt mitte tekstiilide osas.

Üldiselt kujutatakse paelu terves ulatuses ühesuguse struktuuri ja välimusega silindriliste objektidena. Igapäevaelus on selline lähendus enam kui piisav, antud juhul aga jääb sellest väheks. Enamasti ei kata vaha paelu täies ulatuses, vaid on kogunenud punutise kõrgematele kohtadele, nii-öelda „saarekestele“, mistõttu on nende optiline kirjeldamine palju keerulisem kui võiks arvata.

Läikivuse mõõtmisel on mugav käsitleda uuritavat objekti kui tasandit. Laialt on kasutusel valgustamine normaali suhtes 45° - kraadise nurga all ja 45° kraadi juures vaatlemine (45° - 45° peegeldus). Peegeldumisseadus on seega rahuldatud ning on öeldud, et selliselt teostatud mõõtmine kirjeldab objekti spekulaarset peegeldust. Difuusse peegelduse mõõtmisel kasutatakse 45° all valgustamist ja vaatlust 0° all (45° - 0° peegeldus). Sellist katseseadme geomeetriat kasutatakse näiteks tekstiilikiudude korral, mis on valguse suunaga ühes (vertikaal)tasandis ning nende intensiivsuste suhet nimetatakse kontrastide suhteks, mida kasutatakse üldiselt läikivuse mõõdupuuna. [Error! Bookmark not defined.] Läiget vähendavad kõik kiudude kõrvalekalded paralleelsusest, mis võib näiteks riide puhul olla punutisest tingitud lainelisus, vääne ning ka lahtised kiud. On teada, et kootud kangad on punututega võrreldes halvema läikega just oma suuremõõtmelise struktuuri tõttu. [3]

Kangaste mõõtmisel algselt tehtud eeldus, et uuritav objekt on tasand, on riide struktuuri ja defekte arvestades liialt ebatäpne. Lisaks kiu enda struktuurile on punutud niitidel samuti palju erinevaid struktuurielemente, mida peab täpsuse huvides kindlasti arvestama [4]. Objekti suhtes adekvaatse hinnangu saamiseks on sellisel juhul vajalik õige nurga leidmine, mis võib osutuda mittehomoogeensete materjalide korral väga keeruliseks.

Paeltele kohandamiseks ei ole õige nurga otsimine kindlasti optimaalne, kuna hästi peegeldavaid pindu on väga palju ja nad asetsevad tihti üksteise suhtes erinevate nurkade all. Arvestamaks neid kõiki, on kogu mõõtesüsteemi õige nurga jaoks modifitseerimine liialt töö- ning ajamahukas protsess. Antud töö aga uurib terveid paelu, mis on kokku punutud väga paljudest niitidest, millest võib järeldada, et kontrastide suhte meetodi kasutamine ei ole selle rakenduse suhtes ilmselt kõige objektiivsem.

Läike hindamiseks kasutatud meetodid võib jagada viide rühma: ainult ühe nurga alt detekteerivad, kahe nurga peegelduste intensiivsuste suhet mõõtvad, goniofotomeetrilised, polarisatsiooni- ja erimeetodid. Ühe nurga suunas mõõtvate meetodite korral valgustatakse uuritavat objekti kindla nurga alt ja peegeldunud valgus mõõdetakse samuti proovi suhtes kindla, tavaliselt spekulaaarse nurga all oleva detektoriga. Sellist tüüpi instrumente kasutatakse just rutiinsete kontrollmõõtmiste puhul, kus kontrollitakse peegeldumist mingis kindlas vahemikus. Seda rakendatakse mitmete erinevate pindade, näiteks värvipaneelide ja bituumeni läike mõõtmisel.[2]

Kahe nurga meetodid, nagu nimigi ütleb, detekteerivad peegeldunud valguse intensiivsust kahe nurga all, millest üks on enamasti spekulaaarne. Läikivuse väärtus kui selline on tavaliselt väljendatud kas kahe mõõdetud punkti intensiivsuste vahe, suhte või nende kahe kombinatsioonina. Spekulaarse peegelduse mõõtmine kirjeldab ainult mingi kindla punkti läikivaid omadusi, mis ei pruugi objekti kui terviku omadustega alati ühtida.[2]

Goniofotomeetrilise meetodi korral kasutatakse fikseeritud valgusallikat ja objekti ümber pöörlevat detektorit, mis mõõdab peegeldunud valguse intensiivsuse nurksõltuvuse. Enimlevinud meetodite korral on pealelangev valgus pinna normaali suunaline.[2]

Goniomeetrilise mõõtmise puhul on proovi asend äärmiselt oluline tegur, kuna valguse langemisnurk objekti tasandi suhtes võib tulemusi väga suurel määral mõjutada. Järelikult peab objekt olema kiire langemispunktis võimalikult tasapinnaline, ilma kõveruste ja ebatasasusteta.[5] Samuti mõjutab tulemusi objekti elliptilisus, mille mõju läikele sõltub ka langeva valguse nurgast proovi suhtes.[3]

Polarisatsioonimeetod põhineb sellel, et paljudelt mittemetallidelt peegeldunud valgus on polariseeritud, seejuures polarisatsiooni ulatus sõltub langeva kiire nurgast. Näiteks klaasi puhul on 67,5 kraadi all peegeldunud valgus peaaegu täielikult polariseeritud. Teiste materjalide jaoks on maksimaalse polarisatsiooni nurk antud Brewsteri seadusega:

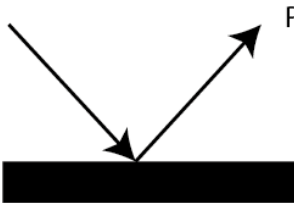

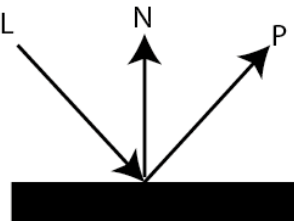
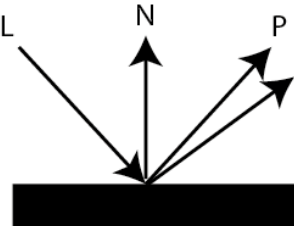
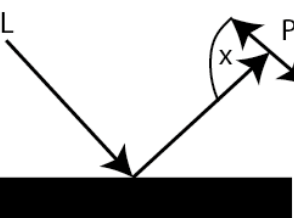
$$\tan(i) = n, \quad (1)$$

kus n on materjali murdumisnäitaja ja i maksimaalse polarisatsiooni nurk. Sellist meetodit on kasutatud näiteks paberi, villaste riiete kui ka metallist pindade korral, aga üldiselt ei ole see meetod kanga uurimiseks efektiivne, kuna maksimaalse polarisatsiooni nurk ei ole terve kanga ulatuses konstantne. Veelgi enam, mõõdetud tulemused ei pruugi ühtida visuaalse läikeaistinguga, kuna inimsilm ei suuda eristada valguse polariseeritust. **[Error! Bookmark not defined.]**

Läikivust iseloomustavaid suurusi on kuus (Tabel 1):

- 1) Spekulaarne läige, mis on omane peamiselt väga hästi peegeldavatele pindadele.
- 2) Pinna suhtes väikeste nurkade all peegeldunud valgus (ingl. k. *sheen*).
- 3) Kontrastne läige ehk pinna spekulaaarselt läikivate ja mujalt peegeldunud valguse intensiivsuse võrdlus.
- 4) Olukord, kus valgus on peegeldunud spekulaaarse nurga suunas hajuvalt (ingl. k. *reflection haze*).
- 5) Pinnal oleva kujutise detailide eristamine (ingl. k. *distinctness-of-image gloss*), mille puhul vaadeldakse selle kujutise peegeldust.
- 6) Pinna tekstuuri puudumise läige, kus läige on tingitud pinna siledusest ja defektide puudumisest. [6]

Need meetodid on suures osas rakendatavad vaid suhteliselt siledade pindade puhul, seega ei ole vastavate mõõtmisprotsesside detailne kirjeldus käesoleva töö seisukohalt oluline.

Läike tüüp	Vaadeldav omadus	Hindamise meetoodika	
Spekulaarne läige	Langenud ja peegeldunud valguse intensiivsuste suhe		$I=P/L$
Sheen ehk väikeste nurkade peegeldus	Väikeste nurkade alt vaadeldult		$I=P/L$
Kontrastne läige	Spekulaarselt peegeldunud ja hajunud valguse suhe		$I=P/N$
Reflection haze ehk spekulaarne hajuvus	Kujutise hägu ja hajuvuse puudumine		$I=(P-N)/L$
Distinctness-of image ehk detailide eristatavus	Spekulaarselt peegeldunud valguse teravus		$I=dP/dx$
Pinna tekstuuri puudumine	Pinna siledus ja ühtlus	Visuaalne hinnang	

Tabel 1. Erinevad läiketüübid.[6]

Kõigist eelnimetatud meetoditest on mitmekülgseim ja universaalseim goniofotomeetriline meetod, kuna see ei eelda, et maksimaalne peegeldus on just spekularse nurga all.[2] Seetõttu sobib see meetod struktuursete pindade

iseloostamiseks Mõõtmiste graafikul kujutatakse peegeldunud valguse intensiivsust ja selle sõltuvust detektori nurgast objekti tasandi suhtes. Graafiku kuju põhjal on võimalik iseloostada objekti läikivust üldisemalt, maksimaalse intensiivsuse ja selle asukoha kõrval on väga olulised näitajad ka näiteks peegeldunud valguse jaotuse laius ning selle võimalikud ebataasused.

Tulemusi võib mõjutada ka objekti värvus, kuna erinevat värvi kehad peegeldavad valgust erinevalt. Eelkõige muudab see läike intensiivsust, heledamad värvid neelavad vähem ning seega peegeldub neilt rohkem valgust. Sama struktuuriga, aga erinevat värvi objektide graafikute kuju ja kõverused ei muutu.[2]

Läikemõõtljad, mida hetkel tööstuslikult toodetakse ja mida on võimalik osta, on keskendunud just eelpool kirjeldatud Hunteri poolt väljapakutud kuuele läiketüübile, mis on peamiselt mõeldud siledade pindade, kiudude, niitide või suhteliselt tasapinnaliste tekstiilide mõõtmiseks. Heaks näiteks on Briti firma Rhopoint Instruments, mis on tootnud läiget mõõtlvaid seadmeid üle 30 aasta. Kõige võimekam läiget mõõtlv toode IQ, millel on kolm seadistust: hägu, spekulaa-se läike, peegeldunud kujutise teravuse ning lisaks spekulaa-se läike goniofotomeetriliseks mõõtlmiseks. Tootja kodulehel nimetatud rakenduste hulgas on autode ja jahtide värvkatte uurimine, puit-, plastikpindade ning üldiste pinnakatete läike mõõtlmine.[7] Kõik need on siiski homogeensed ja ilma märkimisväärsel tekstuurita objektid. Nimetatud goniofotomeetrliline mõõtlmine toimub ainult spekulaa-se nurga suhtes ning vaid mõnel kraadi ulatuses, mis ei ole kaugeltki piisav makroskoopiliselt mittehomogeensete objektide kirjeldamiseks.

Varasemates uurimustes on küll läbi viidud mõõtlmisi, kuid seda põhiliselt niidi, lõnga või kiudude läike uurimiseks ja nii mõneski on seda võrreldud ka visuaalse hinnanguga. [8-10]

See on ka mõistetu, kuna tihti ei ole nii suure punutise ja kõrguste erinevusega toodete puhul läikivus klientidele sama oluline kui värvide, keraamika ja ka näiteks vahatatud põranda puhul, kus toote hea peegeldavus on selle üks kõige olulisemaid omadusi.

2.3. Punutud puuvillased materjalid

Ühe puuvillakiu läbimõõt on suurusjärgus 10 kuni 30 mikromeetrit.[11] Mikroskoobiga lähemalt uurides meenutab kiud linti, mis on väändunud ümber oma telje ning mille

küljed on erinevate nurkade all paigutunud. See tähendab, et hulga kiudude koos vaatlemisel on alati mingi osa, mille jaoks on just see pealelangeva valguse nurk õige selleks, et peegeldunud kiir jõuaks vaatlejani.[4] Loogiliselt võiks eeldada, et mida suurem hulk väikeseid kiude punutises on, seda kindlamini ja intensiivsemalt peegeldab uuritav objekt valgust ükskõik, millise nurga alt vaadatuna. Tegelikuses aga ei pea selline eeldus täielikult paika, vastupidi, on isegi leitud, et kiudude läige ei ole niidi või lõnga läikega kuigi lähedalt seotud.[12]

On leitud, et tervikliku riide läike määramine on palju keerukam protsess kui üksikute kiudude oma, kuna kanga puhul mõjutab tulemust nii kiudude läige, niidi ja riide struktuur kui ka valmistoote tötlusmeetod.[13] Probleem seisneb selles, et mida suurem punutis või paksem riie, seda rohkem tekib erinevaid kihte ja sellega ka murdumiskohti langevate kiirte teekonnal nii kiudude kui ka kangakihtide vahel, vähendades seega vaatleja silma jõudvat valgushulka ja suurendades hajumist. Mõõdetud peegelduse intensiivsuse graafikutel väljendub see efekt laiema ja madalama piigina. Seepärast tunduvad visuaalsel vaatlusel ka õhukesed kangad enamasti parema läikega, kuna võrreldes jämedakoelise või rohkemakihilise riidega esineb seal vähem valguse mitmekordset peegeldust ja murdumist niitide vahel.[3]

Antud töös uuritavad kingapaelad on selles aspektis väga sarnased paksematele kangastele, nad on kihilised, läbipaistmatud ja kuigi neid on väga palju erinevaid tüüpe, mis erinevad niidi läbimõõdu, punutise ja ka näiteks jämeduse poolest, ei saa töötlemata paelu just väga läikivateks nimetada.

Paelte optiliste omaduste uurimise teeb võrreldes kangastega eriti raskeks just punutise olemasolu, mis paljude riidematerjalide puhul ei mängi nii suurt rolli. Palmikuid on palju erinevaid, neid eristavateks omadusteks on peamiselt niidi jämedus ning kasutatud niitide arv, mis mõlemad mõjutavad punutise silma suurust. Punutise struktuurist tingitult ei ole paela pind ühtlane, vaid laineline. Laineharjad ehk kõrgemad punktid, mida kutsutakse saarekesteks, on paela kõige läikivamad kohad. Saarekeste kõrval on aga süvised, mis on nende vastandid ehk paela kõige madalamad ja halvemini peegeldavad kohad.

2.4. Paelte töötlemine

Puuvillase kiu läikivuse parandamiseks on mitmeid erinevaid meetodeid, millest üks levinumaid on merseriseerimine, ehk kiu töötlemine naatriumhüdrokksiidiga, mis

paisutab kiudu, muutes selle ümaramaks, läikivamaks ja kergemini värvitavaks.[14] Nagu eelpool mainitud, ei piisa läikiva paela valmistamiseks ainult hästi läikivast kiust, soovitava välimuse saavutamiseks on vaja ka juba valmis toodet töödelda. Järeltöötlus on seega paela kui terviku läike seisukohast kõige olulisem tootmise etapp ja klient hindab siiski ainult valmistoote visuaalset ilmet. Arvestada tuleb mitmeid aspekte, mida töötlemata paela väljanägemises oleks vaja parandada.

Kuna puuvillased kiud on kogu kingapaelaga võrreldes väga lühikesed, turritavad paljud kiud paelast välja, muutes selle karvaseks. Sellised karvakesed hajutavad ja segavad valguse spekulärset peegeldumist ning siledapinnaline pael näib ka tarbija jaoks atraktiivsem. Karvasuse probleemi lahendamiseks on laiemalt levinud kaks meetodit: põletamine (ingl. k. *gassing* või *singeing*)[15], mis viiakse läbi nii, et valmis pael liigub üle leegi, milles ebasoovitavad karvakesed põlevad lihtsalt ära, ja vahatamine, mille puhul on kiudude paela külge tagasi kleepimine küll pigem protseduuri boonuse kui eesmärk.

Naturaalsest nahast kingade tootjad leiavad, et sellisele kingale sobib ainult naturaalsest materjalist (puuvillast) pael, samas peaks see puuvillane pael läikima nagu nahariba. Seega on vaja rohkemat kui vaid vabaneda segavatest karvadest. Hea läikivuse saavutamiseks kasutatakse paelatööstuses peaaegu eranditult vahaga katmist ning seejärel poleerimist. Vahatamisel on väga oluline parameeter just paela punutise ehk palmiku suurus, kuna mida jämedakoelisem see on, seda suurem on ka kõige kõrgema ja kõige madalama punkti vahe, mis mängib väga suurt rolli paela järeltöötlusel. Nimelt peale paela vahatamist poleeritakse seda harjaste vahel ning on selge, et kõige intensiivsemat töötlust saavad rohkem väljaulatuvad kohad. Väikesema punutise korral oleks ka kõrguste vahe väikesem ning pael saaks terves ulatuses ühtlasema läike.

Haine paelavabrikus viiakse vahatamisprotsess läbi järgmiselt: punutud pael sukeldatakse vahatamislahusesse, seejärel pressitakse liigne lahus välja. Vaha pealekandmisel tuleb silmas pidada, et paelale moodustuva kihi paksus ei oleks liialt suur, muidu võivad kuivamisel moodustuda mullid või suuremad osakesed, mis võivad opalestsentsi tõttu rikkuda soovitud kaubanduslikku välimust. Edasi liigub pael õhu kätte, kus algab kuivamine. Järgnevalt poleeritakse see pöörlevate harjaste vahel ning kuivatatakse täiendavalt umbes 60 °C juures.[16] Poleerimise mõte seisneb selles, et nagu iga pind, läigib ka vaha kõige paremini siis, kui pinnakiht on sile ning ei hajuta

valgust tekstuuri tõttu. Paela vahasse kastmisel ei jää aga vahakiht kuigi tasane ning siin tulebki mängu poleerimine. Pöörlevad harjased eemaldavad paelalt lahtise vaha ning ühtlustavad vahakihti paelal. Intensiivseim kokkupuutepind, mis asetseb punutise kõrgematel saarekestel, läigib pärast töötlust kõige paremini, kuna vahakiht on seal kõige õhem, ühtlasem ja siledam.

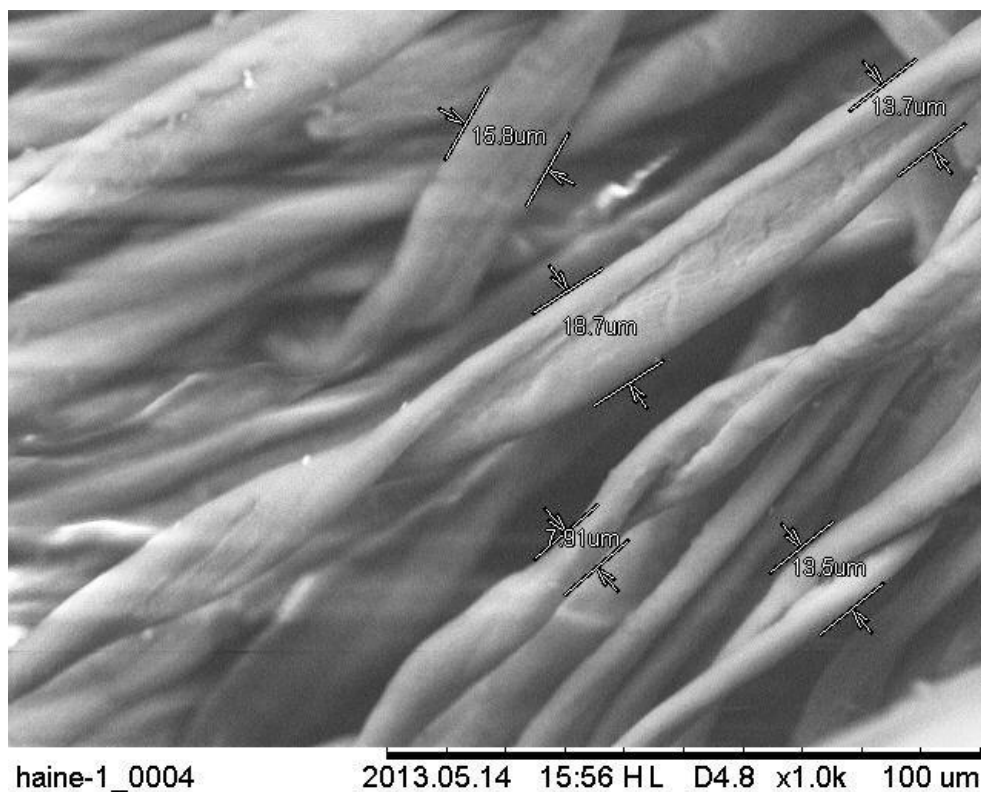
3. EKSPERIMENTAALNE OSA

Eesmärgid:

- Reprodutseeritava mõõtemetoodika loomine
- Peegeldust mõõtvat katseseadme konstrueerimine
- Erinevate paelte valguspeegelduse mõõtmine
- Meetodi tulemuste võrdlemine visuaalse hinnanguga

Uuritavad objektid:

- Kaheksa erinevat puuvillastest kiududest (Pilt 1.) paela, mis erinevad üksteisest nii struktuuri, töötlusastme kui ka tootja poolest.



Pilt 1. Puuvillased kiud

3.1. Uuritavad paelad

Kuna käesoleva töö eesmärgiks on metoodika, mis kirjeldab erinevate paelte läiget ning võimaldab seda kvantitatiivselt omavahel võrrelda, on vajalik mõista, mis on konkreetsete uuritavate objektide optilised omadused .

Kingapael on pealelangeva valguskiire vaatevinklist lähtudes kombinatsioon silindrist, ning risttahukast. Igaüks neist annab oma panuse tervikliku läike kujunemisse; tahud kujutavad endast vahasaarekesi, mis peegeldavad väga hästi, aga paljudes eri suundades. Kuigi uuritavad paelad on kõik erinevate ehituste ja omadustega, pole ühegi ristlõige ringikujuline, nagu kingapaelu tihti ekslikult kujutatakse. Lähemal vaatlusel ilmneb, et ristlõige sarnaneb hoopis ümarate nurkadega ristkülikuga, mida võib tõlgendada kui risttahuka ja silindri kombinatsioonina. See lihtsustab mõnevõrra mõõtmisi, kuna peegeldunud valgus ei haju ühtlaselt kogu ruumi ulatuses, vaid paela kaks kumerat külge hajutavad valgust nagu silindriline objekt ning teised kaks tasapinnalist poolt peegeldavad kui sile pind.

Joonisel 3 on keerukaima struktuuri näitena toodud Haine tootevalikust kõige suurema palmikuga pael. On näha, et massiivse punutise korral on suuremad nii läikivad saarekesed kui ka süvised nende vahel. Needsamad vahasaarekesed ongi uuritavate paelte puhul võtmekohaks, kuna võrreldes ülejäänud paelaga on nende peegeldavus kordades suurem. Vahasaarte vahel asuvad aga halvemini läikivad kohad, ehk süvised, kuhu poleerimisel harjased ei ulatu. Lisaks sellele neeldub ja hajub valgus seal paela kihtide vahel, mis paistab eriti hästi silma suurema punutisega paelte korral. Hoolimata sellest, et konkreetne pael on üsna hea töötlusel, on siiski märgata paelast välja turritavad kiud, mis on läike seisukohalt ebasoovitavad, kuna hajutavad valgust ning jätavad lohaka, kliendi silmis kindlasti pigem halva mulje.



Joonis 3. P-303W paela struktuur

3.2. Katseseadme koostamine

Koostatava katseseadme eesmärk on mõõta paela läikivust ja seda ka mingi võrreldava arvuga kirjeldada. Antud rakenduse puhul ei ole oluline mitte väga suur mõõtmistäpsus, vaid korratavus, võimalus võrrelda erinevalt töödeldud paelu omavahel ja tulemuste

ühtivus visuaalse vaatlusega. Seatud ülesanne pole aga kindlasti mitte lihtsate killast, kuna vaatlusel antud hinnang sõltub väga suurel määral ruumi valgustusest ning vaatlajast. Klient lähtub paela ostul ilmselt siiski oma subjektiivsest hinnangust, mitte laboris mõõdetud tulemustest.

Kuna läikivus oma olemuselt on valguse peegeldus pinnalt, peaks ideaalis soovitava tulemuse saamiseks õiget kiire geomeetriat kasutades vaja olema ainult valgusallikat, objekti ja detektorit. Kingapaelad on aga optilises mõttes täiesti ebastandardsed, erinevad üksteisest väga suurel määral ja on pahatihti ka sama paela ulatuses mittehomoogeensed. Seetõttu peab mõõtmistel arvesse võtma paljusid paeltele omapäraseid ja iseloomulikke parameetreid.

Esialgselt kavandatud katseseadme puhul oli mõõtmisulatus piiratud, nii valgusallikas kui ka sensor olid fikseeritud üksteise suhtes kindla nurga all, et mõõta objektilt ainult spekuarselt peegeldunud valguse intensiivsust. Katseobjektid olid plaani kohaselt asetatud koos hoidjaga alusele, mida on võimalik kahe telje suhtes 25 mm ulatuses liigutada. Sellise skeemi jaoks valmistati ka spetsiaalne pleksiklaasist paeltehoidja, kuhu aja kokkuhoiu ja paelte võimalikult vähese kulutamise huvides sai neid fikseerida kolmekaupä. Järgmistes lõikudes kirjeldatud pöördlaua liigutusulatus võimaldas objekte mõõta järjest, kordagi hoidjat laualt ega paelu hoidjast eemaldamata, hoides nii paelte asendid võimalikult konstantsed. Selline katseseade oleks võimaldanud skaneerida kolme paela järjest, aga detekteerinud peegeldunud valgust ainult ühest punktist.

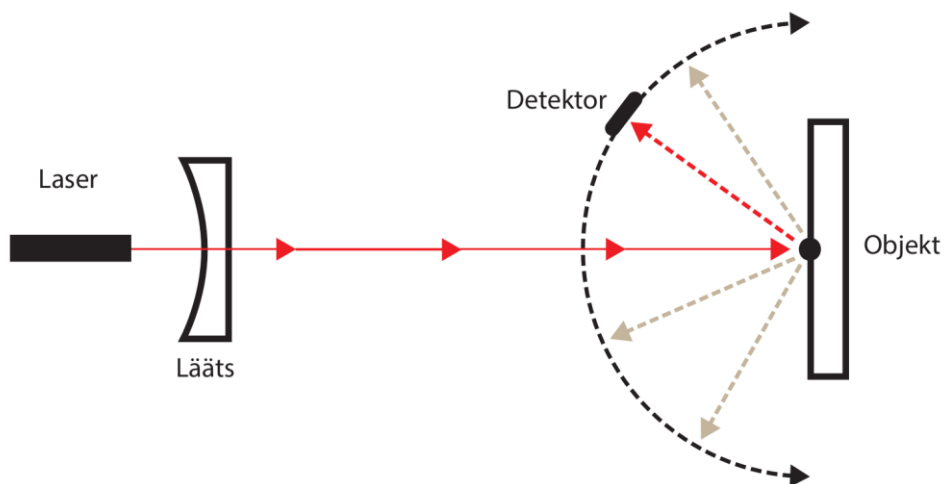
Kuna aga kingapaela puhul ei saa olla kindel, et peegeldunud valguse maksimum on alati spekuarse nurga all ning uuritavate paelte mõõtmed, asend ja omadused (punutise tihedus, paela karvasus ja jämedus) varieeruvad väga suurel määral, selgus katsete läbiviimisel, et erinevate paelte puhul sooritatud mõõtmised fikseeritud detektori ja valgusallikaga annavad harva võrreldavaid tulemusi. Optimaalseim oleks skaneerida tagasipeegeldunud valgus mingis laiemas nurkade vahemikus, kasutades goniofotomeetrilise mõõtmise põhimõtet.

Seetõttu ongi lõplikus katseseadmes (Joonis 4, Pilt 2) detektor asetatud pöörleva aluse peale ning objektile suunatud laseri kiir on paela suhtes risti. Igal mõõtmisel registreeritakse paelalt peegeldunud valguse intensiivsus ja selle sõltuvus detektori asukohast. Selliselt mõõtes võetakse arvesse erineva kuju ja läbimõõduga paelte peegelduste suunalised erinevused, läike maksimum saab mõõdetud igal juhul.

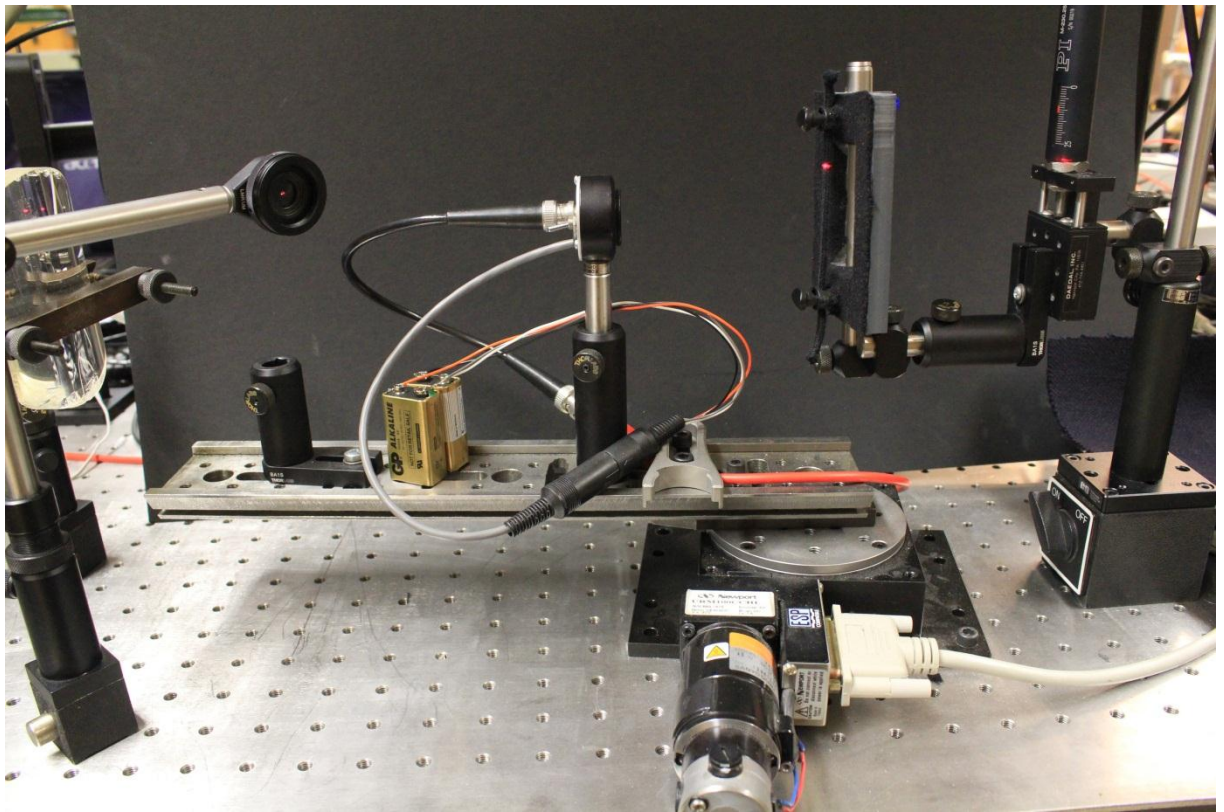
Objekti asend kiire suhtes on ülimalt oluline, pael peab olema sirge, kindlalt fikseeritud ning ka ühtlase pinge all. Kui see on liialt lõdvalt kinnitatud, ei pruugi objekt sirgena püsida ning kõverused mõjutavad üles-alla skaneerimisel paela kaugust detektorist, muutes sellega kiire ja pinna vahelist nurka, mis peaks aga alati sama olema. Paela fikseerimiseks kasutati spetsiaalselt nõõride kinnitamiseks mõeldud klambreid, kuna need ei kahjusta korduval kasutamisel paela struktuuri ega lõhu vahasaarekesi.

Esimestel katsetustel algse hoidjaga ilmnes, et hoolimata sellest, et paelte taga ei ole peegeldavat pinda, esineb siiski mittesoovitav kõrvalpeegeldus nii hoidja pinnalt kui ka kõrvalasuvatelt paeltelt. Samuti esines ka teisi puudusi, paelte kinnitamine oli tülikas ning aeganõudev, rakis surus väga suure osa paelast lapikuks, deformeerides struktuuri ning seda oli äärmiselt tülikas fikseerida pöördlaua tsentrisse.

Neid vigu peeti silmas teise hoidja koostamisel, mille laseripoolne külg kaeti musta riidega, vältimaks parasiitpeegeldust, uuel rakisel on võimalik ainult üht paela korraga kinnitada, elimineerides nii võimaliku segava läike naaberpaeladelt ning ka kinnitusmehhanism viidi vastavusse olemasolevate vahenditega, muutes hoidja mõõtesüsteemist eraldamise ning paelte vahetamise märkimisväärselt hõlpsamaks. Vältimaks võimalikku parasiitpeegeldust, kaeti ka objekti taga olev aktuaator ja selle kinnitused musta riidega



Joonis 4. Lõpliku katseseadme skeem pealtvaates.



Pilt 2. Lõplik katseseade.

3.3. Kasutatud aparatuur ja vahendid

Läikivuse mõõtmiseks on oluline paelale langeva valguse kollimeeritus. Kui kiirgus langeb objektile erinevate nurkade all, peegeldub ta sealt vastavalt peegeldumisseadusele samuti paljude erinevate nurkade all. Kuna pael käitub valguse

peegeldumise vaatenurgast hulktahtukana, siis toimub valguse hajutamine igal juhul. Kollimeeritud valguse puhul on aga objektile langevad kiired paralleelsed ja saab kindlalt väita, et hajunud valgus on tingitud objekti ebakorrapärasusest, mitte pealelangevate valguskiirte omavaheliste nurkade erinevusest. Seetõttu kasutasime pealelangeva valguse allikana punast laserdiodi. Diodi vooluallikaks ja kontrolleriiks oli Stanford Research Systems LDC501.

Suurendamaks signaal-müra suhet ja vältimaks päeva- ning lambivalguse segavat efekti, kasutati laseri valguse intensiivsuse moduleerimiseks SR-850 DSP (*Digital Signal Processing*) digitaalse *lock-in* võimendi sinusoidaalset väljundsignaali, mis ühendati laserdiodi vooluallika LDC501 modulatsioonisisendiga. *Lock-in* võimendi mängib kogu mõõtmisel väga suurt rolli, ta registreerib ülikitsasribavõimendina fotodetektori signaali muutuvat osa, mis võimaldabki vabaneda paljudest müradest ja välisvalguse mõjust. Mõõdetud signaal registreeriti GPIB ühenduse kaudu mõõtmist kontrollivasse arvutisse.

Kasutuseloleva laseri kiir kujutas objektile umbes ühe ruutmillimeetrise pindalaga täpi. Õnnetuseks võib aga mõnede paelte struktuurist tingituna juhtuda nii, et laseritäpi alla jäävad skaneerides tsükliliselt näiteks kas ainult süvised või ainult vahasaared, mis ei anna objektiivset hinnangut paela läikivusele. Seega, et mõõtmine annaks soovitud tulemusi, oleks mõistlik kiirega katta kogu paela laius. See saavutati laseri tee silindrilise läätse asetamisega, mis hajutab algselt kuvatud täpi horisontaalseks triibuks. Saadud triip oli aga ka kõige suuremast paelast palju laiem ning selle vertikaalne kõrgus oli samuti soovitud suurem. Õige suurusega kujutise saamiseks asetati läätse ja objekti vahele diafragma, mille ava reguleerides oli võimalik saada piisavalt kitsas triip, mis kataks paela pikkuse suhtes ristisuunas ning ei oleks liiga lai.

Nagu eelpool mainitud, võib paela vaadelda kui hulknurka, mis peegeldab pealelangevat valgust paljudesse erinevatesse suundadesse. Kõigi nende paljude nurkade all peegeldunud kiirte detekteerimiseks on kasutusel võimendiga räni-fotodiod Thorlabs PDA55, mis on asetatud Newport URM-100-CCHL pöördlauale.

Ühes punktis mõõtmine ei anna selget pilti kogu paela läikivusest, vaid selleks on vaja skaneerida suuremas ulatuses. Samas paela käsitsi hoidjas üles-alla liigutamine on liialt ajamahukas ning süsteemi pidev ümberkonfigureerimine ei mõju kindlasti korratavusele

hästi. Paela vertikaalseks nihutamiseks kinnitati hoidja lineaarse aktuaatoriga PI M-230 liigutatava translaatori külge, mille maksimaalne liigutusulatus on 25 mm.

Nii aktuaatorit kui pöördlauda juhib otseselt Newport'i universaalne kontrolleri ESP300, kuid seni selgusetuks jäänud põhjusel andis nende korraga arvutiga kontrollimine veateate, seega aktuaatori liigutamine toimus kontrollpuldil käsitsi nupu vajutamisega.

Kogu mõõtmisprotsessi, peale lineaarse aktuaatori, juhib FI töötaja Aare Floreni poolt juba varem koostatud LabVIEW programm, mis liigutab pöördlauda ning võimaldab muuta selle pöörlemise kiirust ning mõningaid võimendi parameetreid. Samuti kogub see *lock-in* võimendist detektori signaali ja kuvab sisendpinge sõltuvuse pöördlaua nurgast reaajas graafikul. Programm salvestab vastava info juhtarvutisse kasutaja poolt valitud asukoha ja nimega tekstifaili.

3.4. Mõõtemetoodika

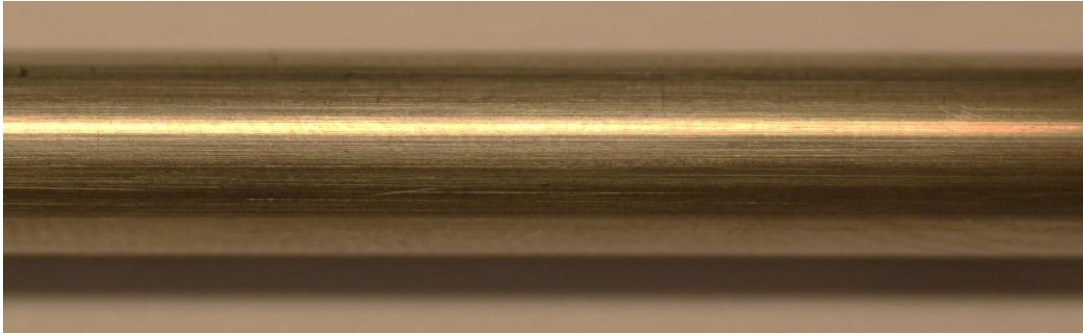
Mõõtmiste tingimused püüti kõigi paelte jaoks võimalikult identsed hoida. Mõõtmisi alustades käivitati kõigepealt laser, mille toitevool seati väärtusele 20 mA. Laseri valgust moduleeriti SR-850 *lock-in* võimendi sinusoidaalse väljundsignaali abil, mis suunati toiteallika modulatsioonisisendisse. Kasutatav sagedus oli 95 Hz ja modulatsioonipinge 0,2 V rms. Erinevate paelte mõõtmiste vahel laserit välja ei lülitatud. Seejärel seati paika SR-850 parameetrid: *manual reserve* 34 dB, ajategur τ 0,1 sekundit, tundlikkus 250 mV ning signaali digiteerimise sagedus 16 Hz.

Iga kord kui hoidjasse asetati uus pael, veenduti, et laseri kiir kataks täielikult kogu paela laiuse, et objekt oleks valgusvihu keskel, piisava pinge all ja paelte hoidja loodis. Üks mõõtmistsükkel kestis ajaliselt umbes poolteist minutit. Seejärel nihutati aktuaatori abiga paela vastavalt vajadusele millimeetri võrra üles või alla ning korraldi mõõtmist. Iga objekti puhul sooritati vähemalt viis mõõtettsükli. Programm salvestas detektori signaali voltides ning graafikule kuvati detektori registreeritud valguse intensiivsuse sõltuvus pöördlaua nurgast.

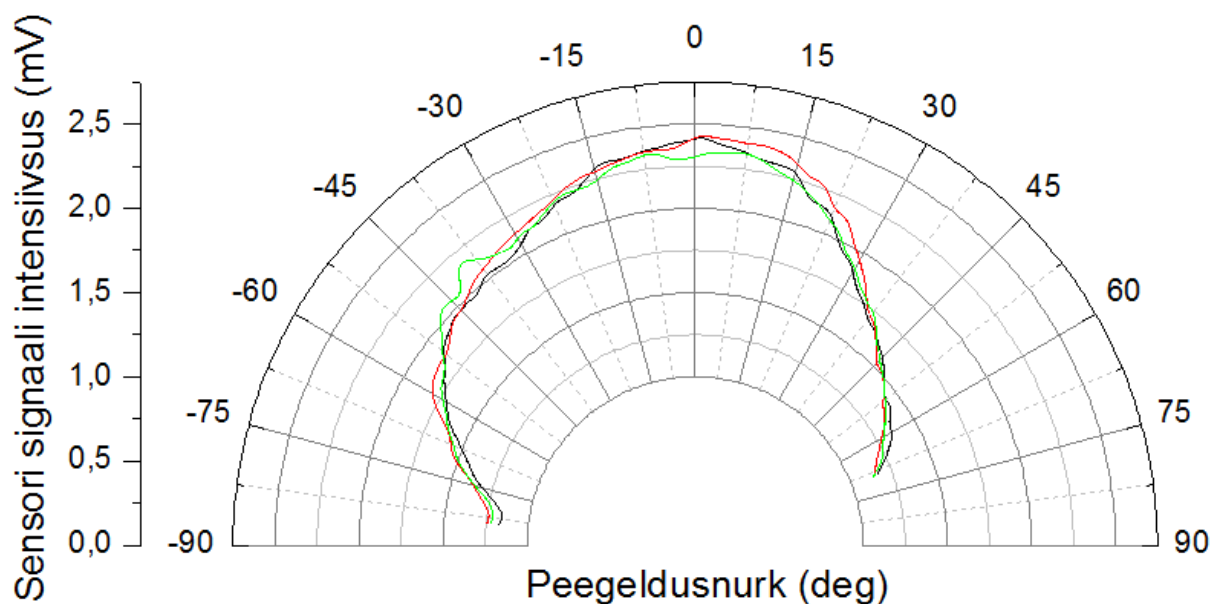
Iga paela puhul sooritati vähemalt 5 mõõtettsükli ning iga tsükli vahel liigutati paela aktuaatori abil umbes 1 mm. Kõigil graafikutel on erinevad tsüklid tähistatud erinevate värvidega. Mõnede paelte puhul ei olnud mõõdetud graafikud alati rahuldavalt kattuvad, põhjuseks ilmselt paela ebasobiv asend hoidjas (aktuaatori liikumissuuna suhtes kaldu või paelal vint sees). Et tulemused oleksid võrreldavamad, sooritati kordusmõõtmised,

kus suurendati mõõdetavate tsüklite arvu ja sellega ka skaneeritud ala, et kindlasti saada vähemalt mingi hulk hästi kattuvaid kõveraid.

Etalonkehana kasutati metallist kaardikeppi (Pilt 3, Lisa 2) selle hea pinnasileduse ja läikivuse tõttu. Parema näitlikkuse huvides on kõik graafikud esitatud polaarkoordinaatides. Teeta on detektori nurk pealelangeva kiire suhtes ning raadius on detektori signaali intensiivsus millivoltides.



Pilt 3. Kaardikepi lähivaade.



Graafik 1. Kaardikepi peegelduse intensiivsus sõltuvana peegeldusnurgast.

Kaardikepi graafikult võib näha, et kõver on lai, objekt peegeldab ühtlaselt hästi väga laias ulatuses, mis on iseloomulik silindrilisele kehale. Eraldiseisvad piigid puuduvad, maksimum on asendis, kus sensor on ühel joonel kiirega. Suures ulatuses on intensiivsus kordades suurem kui ühegi mõõdetud paela puhul. Samuti on jooned ühtlased ja enamjaolt kattuvad, mis demonstreerib uuritava keha siledust ja

homogeensust. Ideaalne graafik oleks ilma vahepealse mürata, kahjuks pole katsekeha siiski saajaprotsendiliselt täiuslik ja sile. Esineb ka mõningane ebasümmeetria, mis võib olla tingitud tuvastamata parasiitpeegelduse allikast või objekti asendi nihkest kiire suhtes.

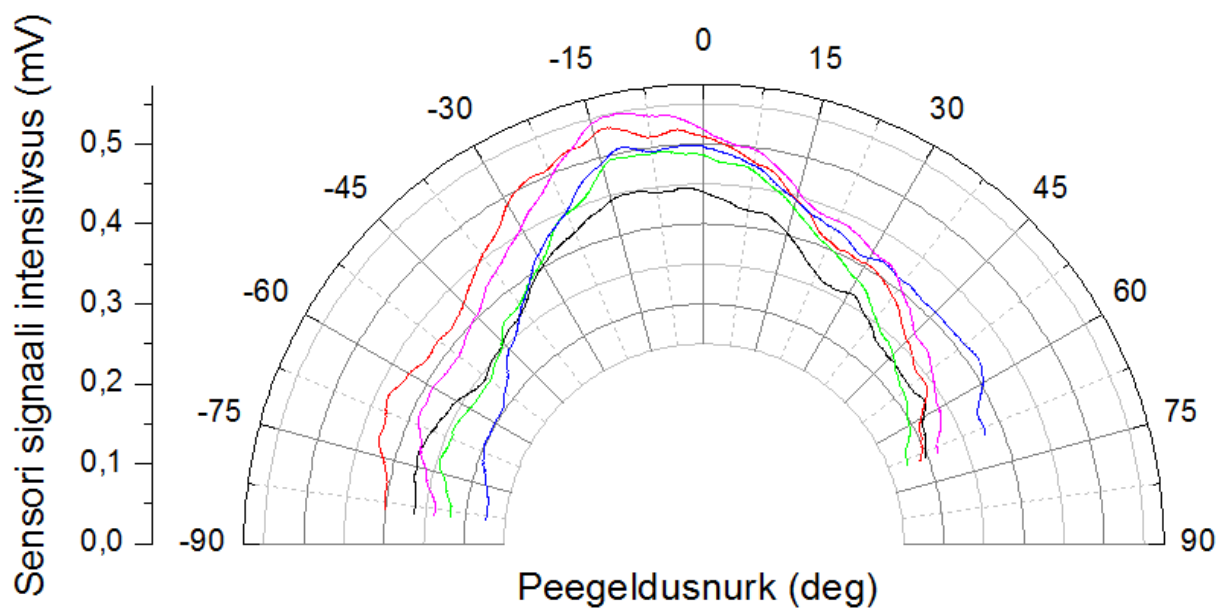
3.4.1. Uuritavad paelad ning nende läikivus

1. P-302



Pilt 4. Pael P-302

Tegemist on Haine paelavabriku toodetud vahatamata puuvillase paelaga. Pildilt 4 võib näha, et paela punutis on võrdlemisi tihe, saarekesed on läiketa, on võimalik eristada eraldiseisvaid niite. Valikus esindab pigem halvemini läikivaid paelu, kuna on töötlemata ja punutise vahelt väljaulatuvad karvad on nähtavad ka visuaalsel vaatlusel. Samuti väga oluline just seepärast, et valikus on ka muidu identne, aga töödeldud pael.



Graafik 2. P-302 peegelduse intensiivsus sõltuvana peegeldusnurgast.

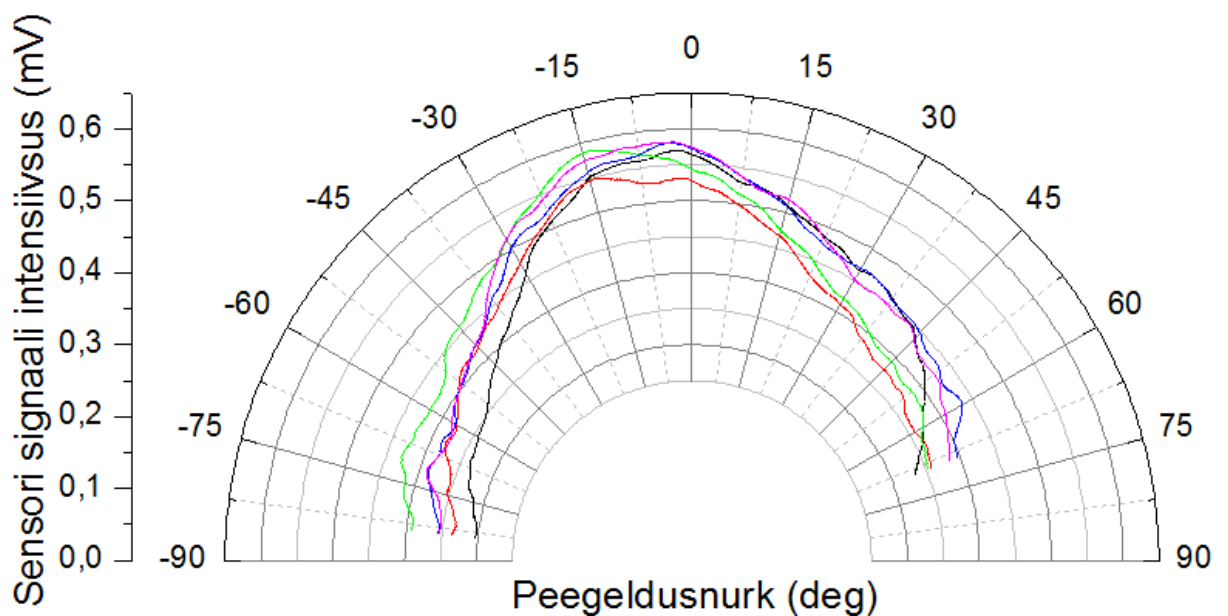
On näha, et graafikute kuju on sarnane, tsüklitevaheline erinevus paistab rohkem silma ainult intensiivsuste vahes, mis on ilmselt tingitud kiire sattumisest kas karvasemale alale, süviste või saarekeste kohale, vastavalt siis intensiivsemate ja vähem intensiivsete joonte korral. Maksimaalsete intensiivsuste nurga nihe on ilmselt tingitud paela asendist kiire suhtes.

2. P-302W



Pilt 5. Pael P-302W

Struktuurilt ja materjalilt identne P-302 paelaga, ainus erinevus seisneb töötamise astmes. P-302W on vahatatud ja poleeritud. Vahasaarekesed on nähtavad terve paela ulatuses, võrreldes P-302-ga on silmatorkavaid karvu palju vähem, saarekeste ümber eristuvad selgelt süvised. Kuna vaha katab saarekesi ühtlaselt, ei ole eraldiseisvaid niite palmikus kuigi hästi näha.



Graafik 3. P-302W peegelduse intensiivsus sõltuvana peegeldusnurgast.

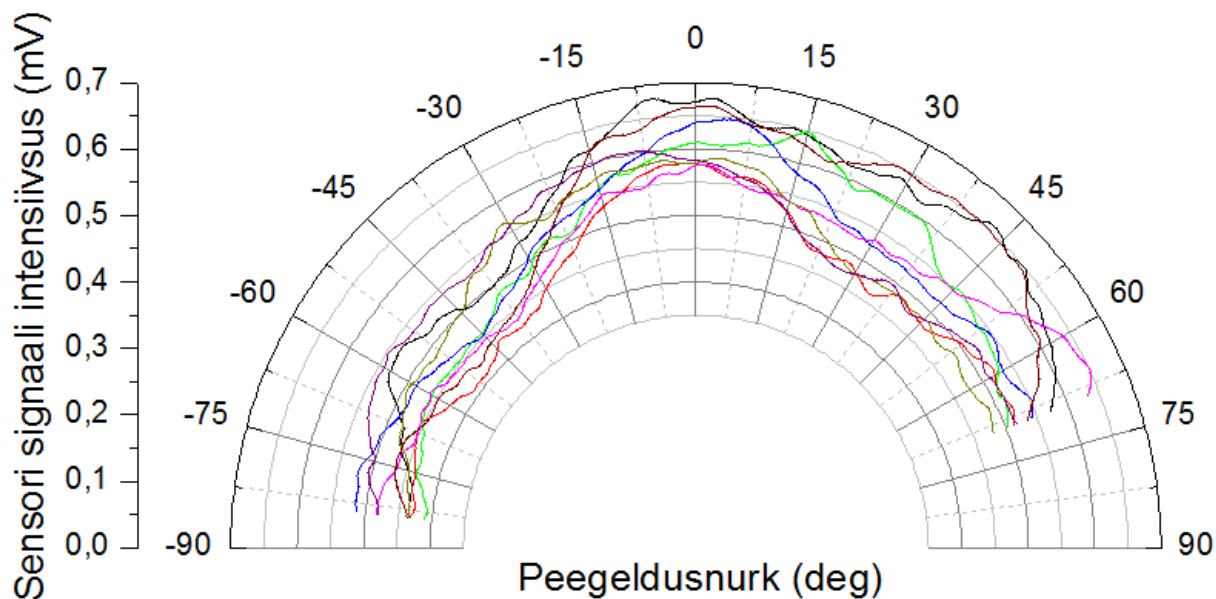
Võrreldes töötlemata paelaga on intensiivsuste maksimumid kõrgemal ning erinevate tsüklite jooned kattuvad palju suuremal määral. Põhjuseks muidugi vahatatud pindade suurem peegeldusvõime ning väiksem hulk segavaid karvakesi, mis võivad väga suurel määral mõjutada intensiivsust ja sellega ka graafiku kuju, isegi kui paela struktuur on sama.

3. 4BW



Pilt 6. Pael 4BW

Kõige laiem, võiks isegi öelda, et lapik, väga tiheda punutisega vahatatud pael, mille lähemal vaatlemisel võib märgata lühikesi kuid jämedaid väljaturritavaid kiude. Kõik saarekeste read ei läigi ühtlaselt, paela servadel olevad saarekesed on ilmselt rohkem poleeritud ja seega ka peegeldavad paremini. Kuna esialgne mõõtmine andis üsna ebaühtlased ja erinevad graafikud, sooritati kordusmõõtmised, mis andsid palju paremini korduvad tulemused. Süvised saarekeste vahel ei ole tugevalt eristatavad, samas on palmikus nähtavad üksikud niidid.



Graafik 4. 4BW peegelduse intensiivsus sõltuvana peegeldusnurgast.

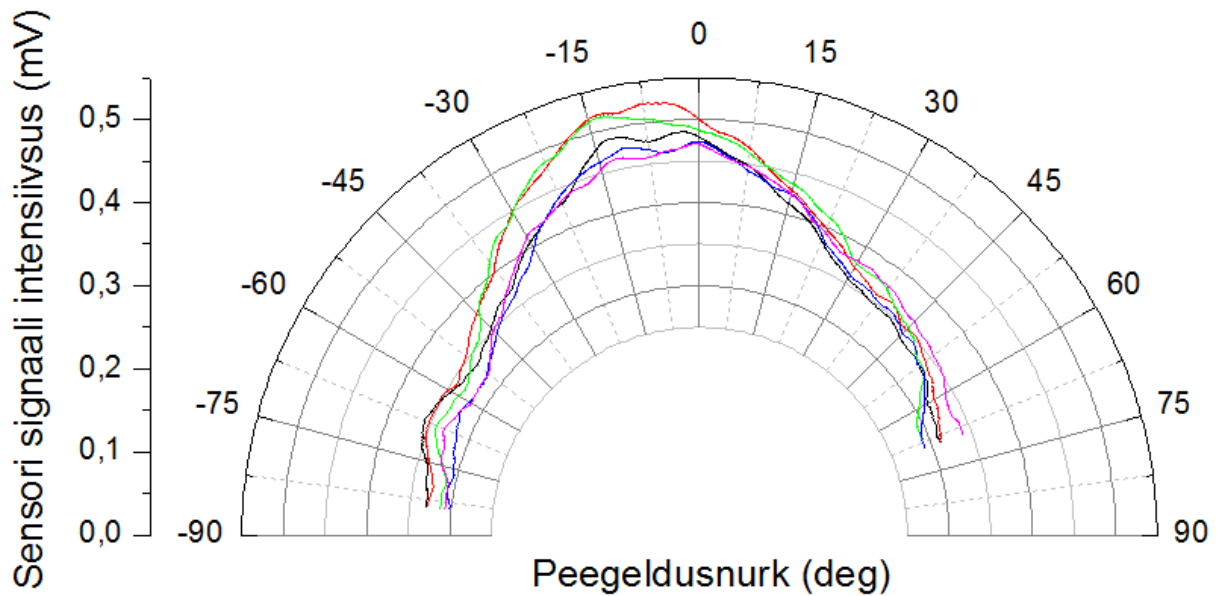
Nii erinevate mõõtmiste kui ka ühe sessiooni piires mõõdetud tsüklid erinevad üksteisest päris olulisel määral, kuid maksimumide väärtused on mõlemal mõõtmisessioonil väga sarnased, millest võib järeldada, et mõõtmiste korduvus on täiesti arvestatav. Graafiku ebahühtlast kuju põhjustab tihe punutis ja paela karvasus. Oluline roll on ka sellel, et kõik saarekesed ei läigi võrdselt hästi, paela keskel olev vaha ei ole nii hästi läikima poleeritud kui paela kantidel. Summaarne peegeldus on üsna suur, ilmselt tänu väga laiale ja tasapinnalisele küljele.

4. 4A



Pilt 7. Pael 4A

Vahatamata ja töötlemata Haine paelavabriku toodang. Võetud võrdlusele kui kõige halvemini peegeldav pael. Karvasus, kitsas palmik ning tihe punutis tingivad visuaalselt märgatavate saarekeste puudumise. Uuritud paeltest kõige väikesema läbimõõduga.



Graafik 5. 4A peegelduse intensiivsus sõltuvana peegeldusnurgast.

Pael hajutab valgust ühtlaselt igas suunas, võib isegi öelda, et ühtlasemalt kui hästi peegeldavad paelad, mis on tingitud sellest, et punutist või struktuuri ei ole võimalik karvasuse tõttu eristada ning objekt on suures ulatuses homogeenne. Üldine intensiivsus on väga madal.

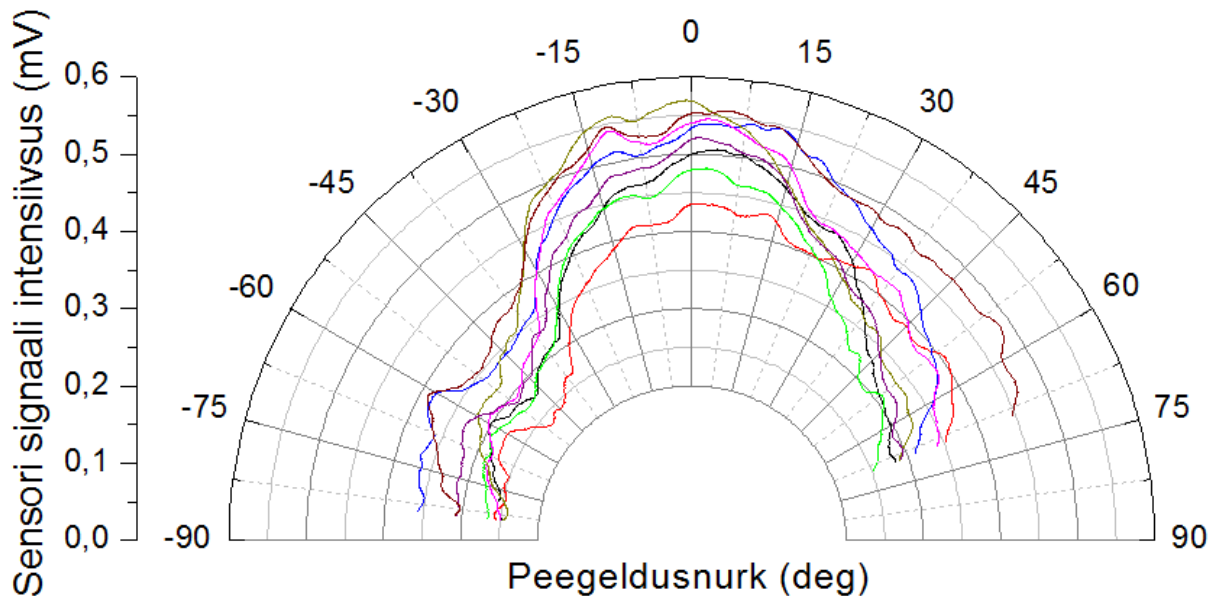
5. P-303W



Pilt 8. Pael P-303W

Haine paelavabriku vahatatud ja töödeldud pael. Katsesse valitud just oma teistest objektidest erineva suure palmiku tõttu, peegeldamist segavaid karvakesi on väga vähe

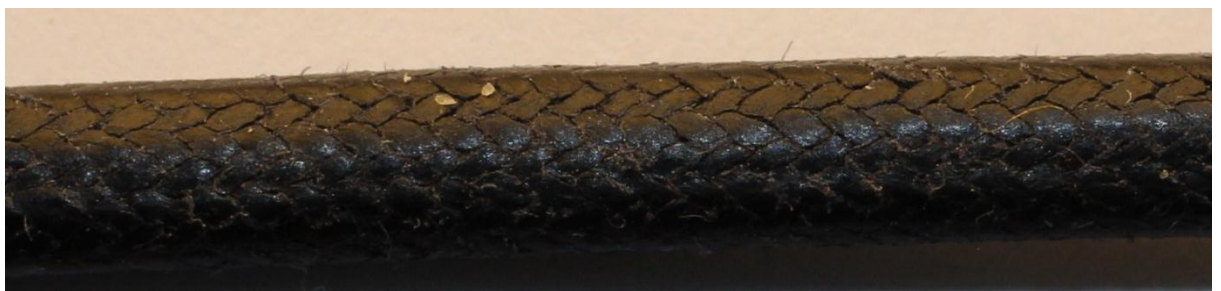
ja need asetsevad üksteisest suhteliselt kaugel. Niidi jämedus tingib ka suured, hästi läikivad saarekesed. Samas on igal saarekesel eristatavad üksikud kiud ja nii kiudude kui ka saarekeste vahel asuvad üsna suured mittepeegeldavad pinnad.



Graafik 6. P-303W peegelduse intensiivsus sõltuvana peegeldusnurgast.

Suure punutise tõttu on graafik üsna säbruline, suurte ja väikeste nurkade all ei ole peegeldus kuigi intensiivne, mis võib olla põhjustatud paela kumeratest servadest. Kohati suured miinimumid, mis on ilmselt süviste poolt tingitud.

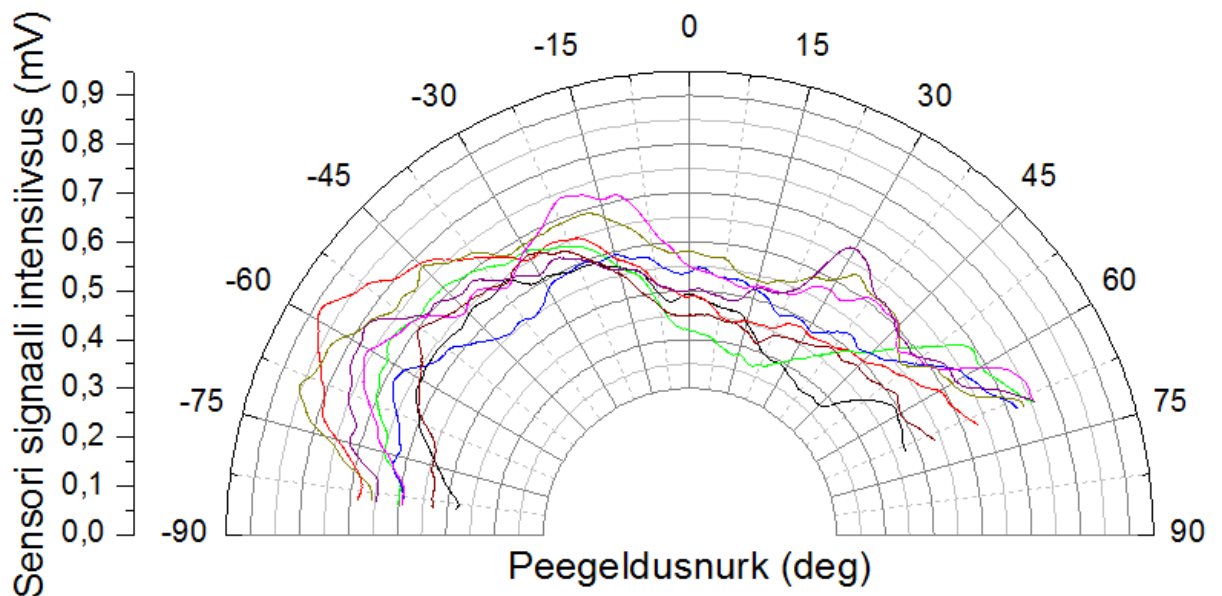
6. HS-1



Pilt 9. Pael HS-1

Katsesse valitud kui üks kõige paremini peegeldavaid paelu. Valmistatud aastaid tagasi Saksamaal, kui kasutusel olid teistsugused vahad, mis on nüüd keelustatud keskkonnanõuete tõttu. Saksa paeltest peenem, mõõtmist segavad karvad puuduvad põhimõtteliselt täiesti. Kogu objekti ulatuses on näha väga palju ja väga hästi peegeldavaid vahasaarekesi, mille vahele jääv mittepeegeldav ala on peaaegu olematu.

Esimesel mõõtmisel ei kattunud graafikud omavahel, kõige intensiivsem piik hälbis teistest silmatorkavalt palju ja seepärast sooritati kordusmõõtmine ka sellele paelale.



Graafik 7. HS-1 peegelduse intensiivsus sõltuvana peegeldusnurgast.

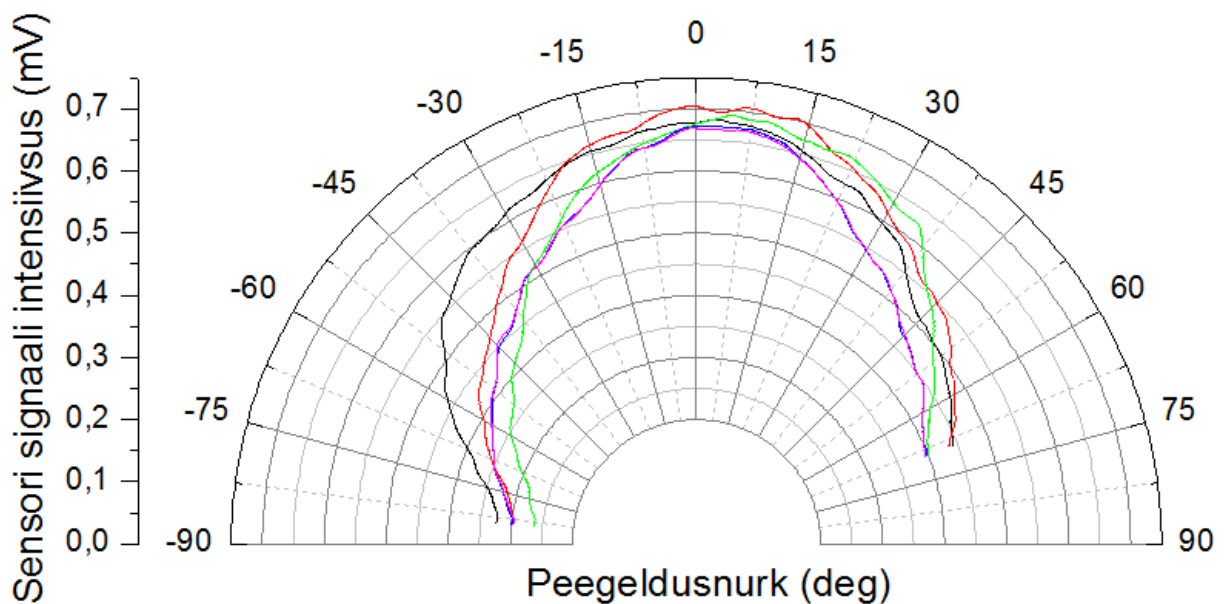
Graafikud kattuvad üsna vähe, joonte kujud on väga erinevad ja ka maksimumide asukohad on erinevad esimesest mõõtmisest, kui peegeldumise maksimaalne intensiivsus oli 90, selle korra puhul aga mitte rohkema kui 50 kraadi juures. Selle anomaalia põhjuseks võib olla paela asetus hoidjas. Objekt asetseb ilmselt hoidjas ebasümmeetriliselt, paela ristlõige on kumerate servadega ristküliku sarnane ning tasapinnaline pool võis jääda kiire suhtes nurga alla, peegeldades kõige intensiivsemalt hoopis madalamate nurkade suunas. Seejuures paela keskele, umbes 100 kraadi juurde, kus eelnevate mõõtmiste puhul asetsesid maksimumid jäi kant, mis hajutas valgust rohkem. Intensiivsust see aga ei mõjuta ja võrreldes esimese sessiooniga on nii maksimumide keskmine kui ka absoluutne maksimum tõusnud, mis viis tulemuse ka vastavusse visuaalse hinnanguga.

7. HS-2



Pilt 10. Pael HS-2

Kahest valikus olevast Saksa paelast jämedam, sellel on ka suurema niidiga punutis, mis tingib omakorda ka laiemad vahed vahasaarekeste vahel. Sarnaselt HS-1-ga puuduvad peaaegu absoluutselt peegeldumist segavad karvakesed. Saarekestel on eristatavad üksikud niidid.



Graafik 8. HS-2 peegelduse intensiivsus sõltuvana peegeldusnurgast.

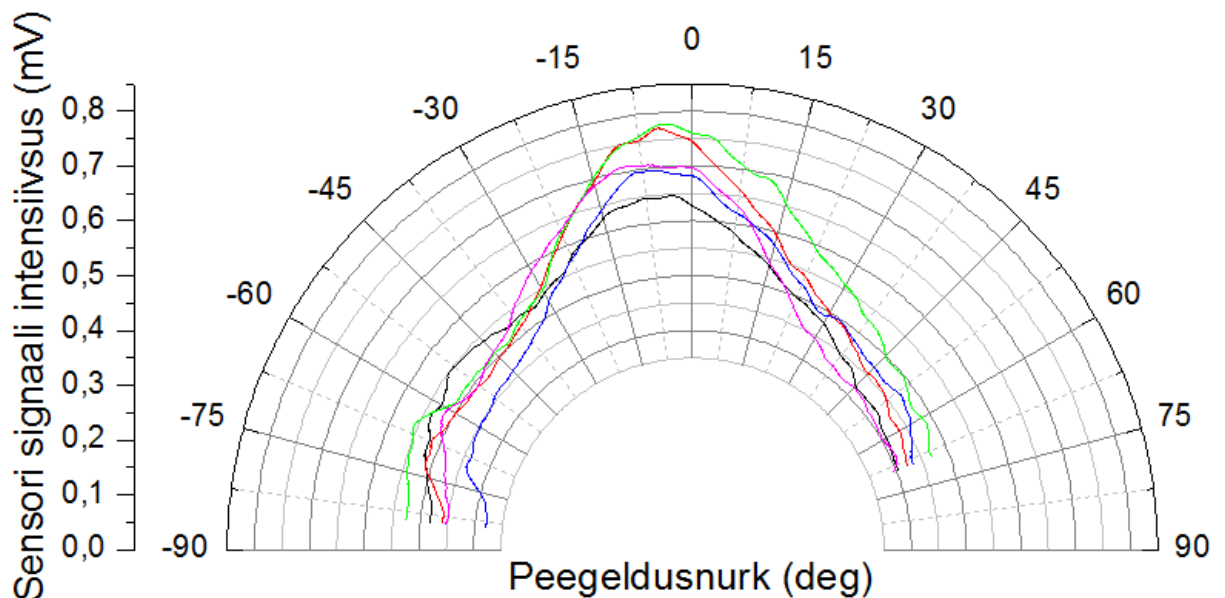
Väga suure intensiivsusega graafik, terves ulatuses ühtlane ja ilma suuremate ebataasusteta, mõningast „lainetust“ põhjustavad ilmselt süvised. Samuti kattuvad erinevates punktides sooritatud mõõtmised väga suures ulatuses. Kõige suurem intensiivsus oodatult asendis, kus detektor on ühel joonel laseriga.

8. Ringpoint



Pilt 11. Pael Ringpoint.

Praeguseaegne Saksa firma kvaliteetpael, samuti võetud võrdlusesse kui üks parimaid. Väga tihe punutis, eraldiseisvaid kiude on ülimalt keeruline eristada, läikivaid vahasaarekesi on hulgaliselt, samas on need väikesemad ja hõredamalt paiknevad kui HS-2 korral, mis on antud valikus kõige sarnasem pael.



Graafik 9. Ringpoint'i peegelduse intensiivsus sõltuvana peegeldusnurgast

Piik on kitsas ja positsioonis, kus detektor ja kiir on samal joonel. See näitab, et hõredalt asuvad saarekesed peegeldavad pealelangevat valgust väga intensiivselt, aga peamiselt ühes suunas ja teiste nurkade alt paela vaadates ei läigi see kuigi hästi. Ilmselt on see põhjustatud paela suhteliselt ristküliku-kujulisest ehitusest, mis suurtemate ja väikeste nurkade alla nii intensiivselt ei peegelda, lisaks veel võimalus, et kantide peale jäid mittepeegeldavad süvised.

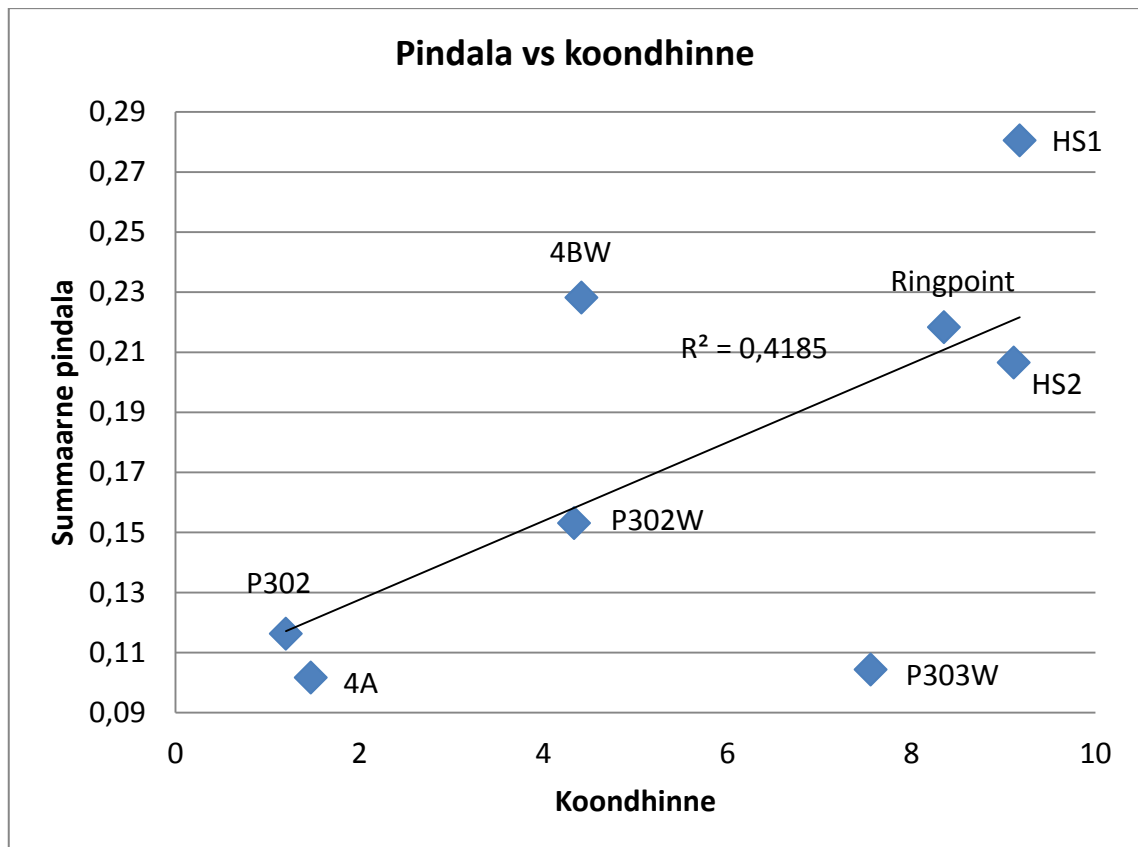
3.4.2. Küsitlus

Üks peamisi tingimusi, millele loodud metoodika pidi vastama, oli mõõdetud tulemuste vastavus visuaalse vaatlusega. Selle kontrollimiseks koostati küsitlus, milles uuriti 10 inimese hinnangut mõõdetud kaheksale paelale. Küsitluses osalenud pidid hindama kümne palli süsteemis ühe küsimusena paelte üldist visuaalset kvaliteeti ja teisena paela kõige paremini läikiva koha läike intensiivsust. Vastanud olid erinevatest vanusegruppidest, soost ning oli ka paela läike uurimisega rohkem kokku puutunud ja nii-öelda „võhikuid“. Kõik hindamised viidi läbi sarnase valgusallika all ja päevasel ajal, tagamaks võimalikult võrdseid tingimusi. Paelad olid küsitluslehele asetatud suvalises järjekorras ning nende kohta ei antud küsitletutele mingit lisainfot. Ühe küsitletu vastuseid ei kasutatud, kuna need hälbisid teistest väga suurel määral, põhjuseks oli ilmselt erinev arusaam terminist visuaalne kvaliteet.

3.5. Tulemuste analüüs

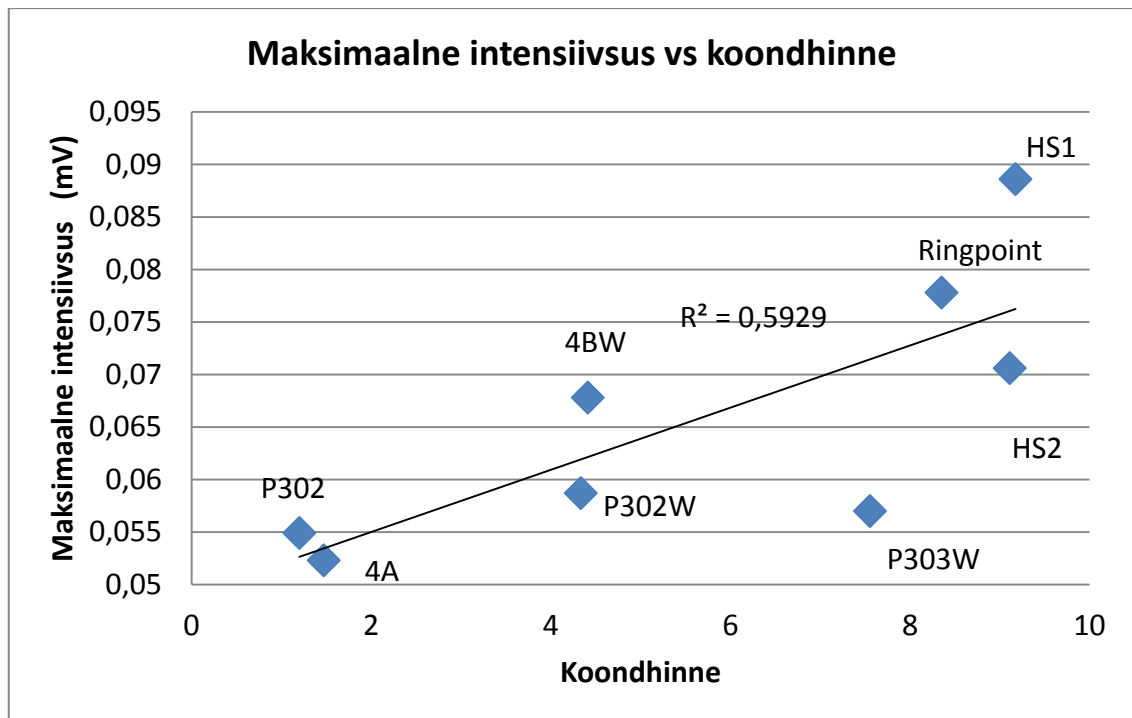
Mõõtmistulemuste ja saadud graafikute erinev tõlgendamine võimaldab hinnata paela paljusid omadusi, näiteks struktuuri, palmiku jämedust ning ka näiteks töötluse efektiivsust. Põhiline parameeter, mida selles uuringus siiski otsitakse ja tahetakse kvantitatiivselt kirjeldada, on läikivus, mida saab väljendada erinevate näitajatega. Kõiki proovitud näitajaid kõrvutatakse küsitluse tulemusest saadud kahe hinde keskmise, ehk koondhindega. Nii on võimalik leida meetod, mis ühtib kõige rohkem visuaalse hinnanguga.

Esimese ideena kasutasime graafikualuste pindalade võrdlemist, kuna see arvestab kogu paelalt peegeldunud valguse. Selle teooria järgi tähendab suurem pindala ka suuremat peegeldavust. Kõigi mõõdetud tsüklite graafikute alune pindala summeeriti iga paela jaoks, parema võrdluse huvides võeti baasjooneks kõige madalama intensiivsusega graafiku miinimum ehk 0,25 mV. Järgneval graafikul (vt Graafik 12) võib märgata mõningaid ebakõlasid silmaga nähtava läike ja antud meetodi tulemuste vahel, näiteks suure punutisega P-303W näib silmale pigem hästi läikiv tänu suurtele vahasaarekestele, aga tõenäoliselt ei peegelda summaarselt nii palju valgust tagasi, kui näiteks 4BW, mida hinnati visuaalsel vaatlusel pigem halvemini läikivaks. Seda põhjustab ilmselt 4BW lapik kuju, mis peegeldab summaarselt rohkem valgust tagasi. Selline ebakõla silmaga nähtava ja saadud tulemuste vahel tähendab, et antud uurimuse puhul ei ole mõistlik kasutada paelte läike iseloomustajana graafikualuste pindalade summat.



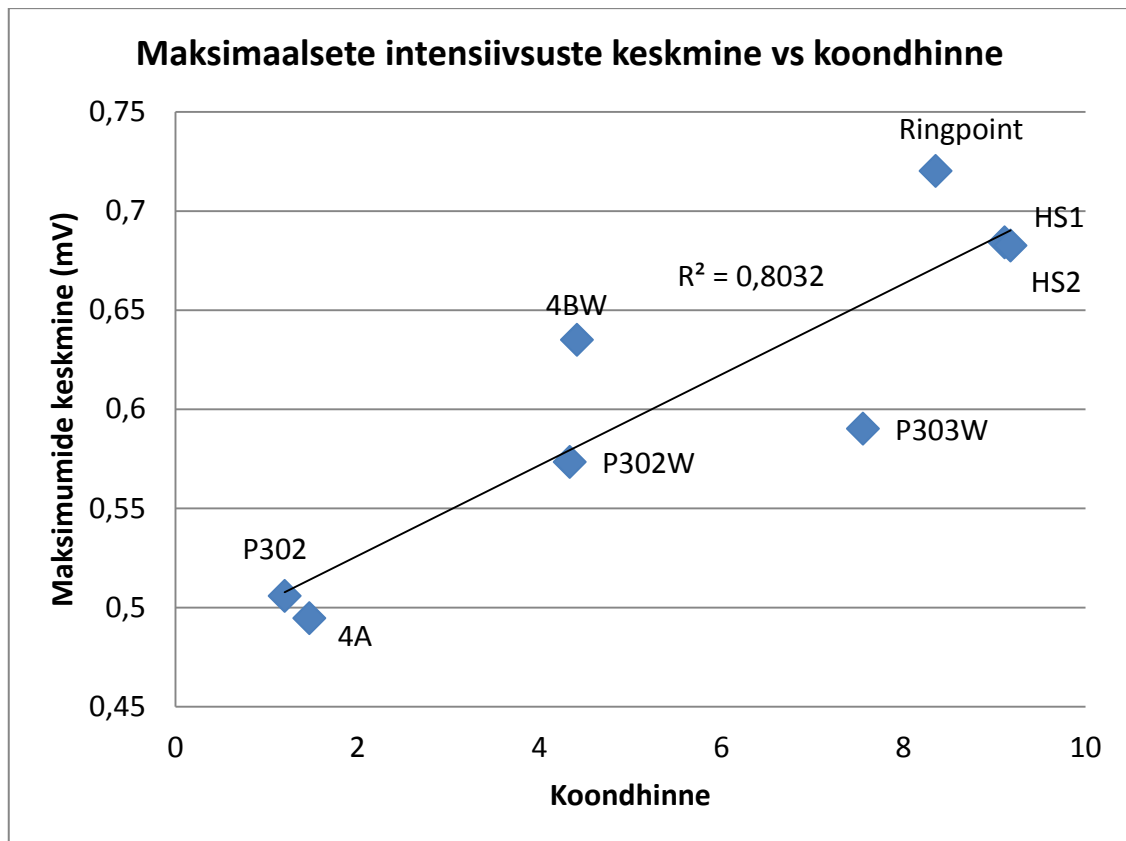
Graafik 10. Graafikualuste pindalade ja koondhinde võrdlus

Kuna peegeldunud valguse summaarse intensiivsuse võrdlemine ei ole läike mõõtmisel päris adekvaatne meetod ning kõvera kuju pole kuigi lihtsasti kirjeldatav ja alati üheselt mõistetav parameeter, oli järgmine loogiline graafikult loetav näitaja peegelduse maksimaalne intensiivsus.



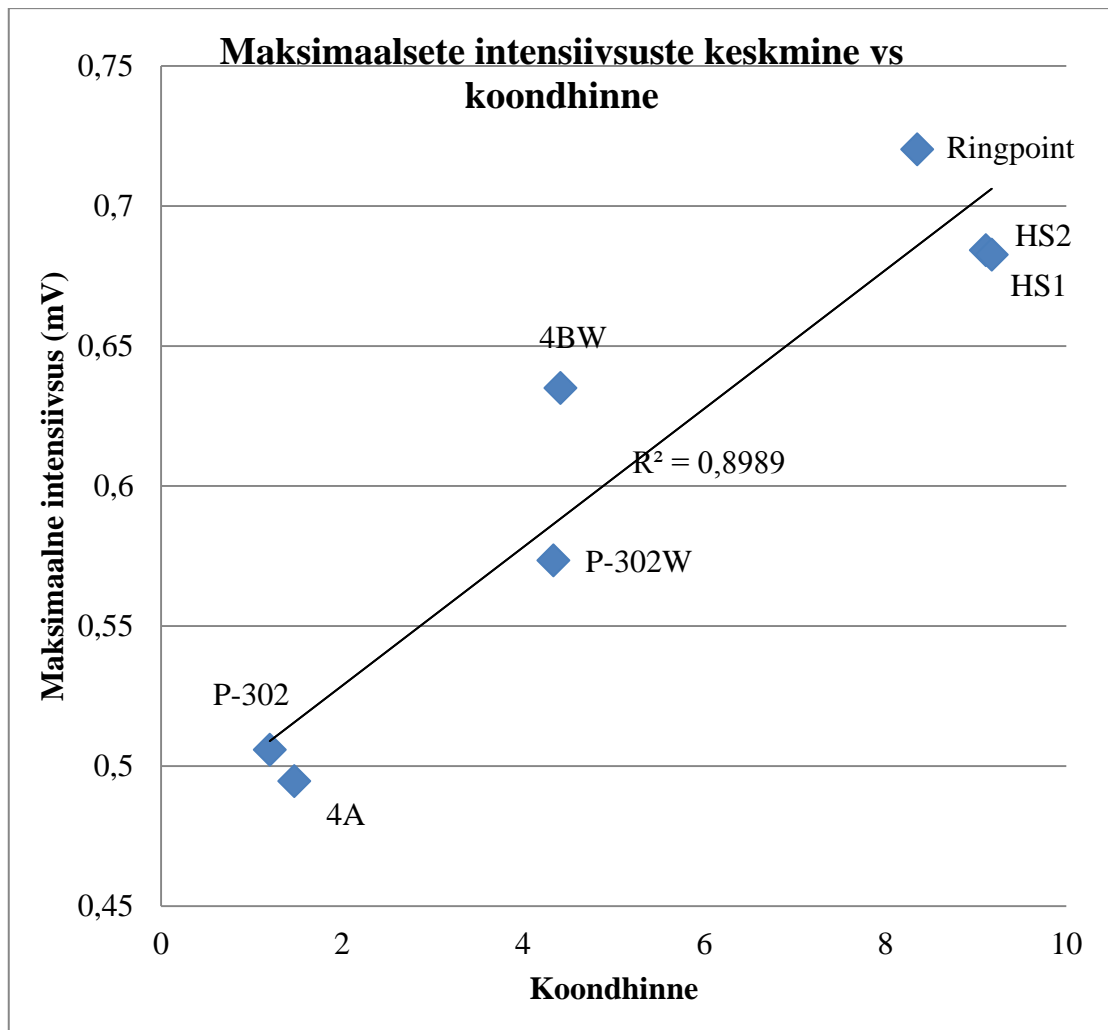
Graafik 11. Maksimaalsete intensiivsuste ja koondhinde võrdlus

Nagu graafikult näha, on paremusjärjestus muutunud sarnasemaks silmaga hinnatavale, vastavalt sellele on parima läikega paelad HS-1, Ringpoint ja HS-2, mis vastab palju rohkem reaalsele olukorrale kui pindalade võrdlus. Ebakõla ilmneb jällegi P303W juures, mis on visuaalsel vaatlusel kindlasti paremini peegeldav kui P-302W ja 4BW, kuid see on põhjendatav P303W väga suure punutisega.



Graafik 12. Maksimaalsete intensiivsuste keskmiste ja koondhinde võrdlus

Arvestades, et klient hindab siiski paela kui tervikut, mitte maksimaalselt läikivat punkti paelal, leiti erinevate tsüklite maksimaalsete intensiivsuste keskmine. Kõrvutades seda näitajat koondhindega on olukord graafikul kõige parem, kolm kõige paremini läikivat paela on üsna ühel pulgal, aga järjekordselt on P-303W halvemini läikiv kui 4BW, mis ei ühti silmaga nähtuga. Kuna see ei klapi ühelgi graafikul, võib järeldada, et vähemalt selle meetodiga ei ole mõistlik niivõrd erineva punutisega paelu omavahel võrrelda, nende ristlõige ja ehitus on lihtsalt liiga erinev.



Graafik 13. Paelte läike maksimaalsete intensiivsuste keskmise ja koondhinne võrdlus.

Graafikul on esitatud kõige parema korrelatsiooniga tulemus. Mudelist on eemaldatud pael P-303W, kuna selle struktuur hälbis teistest äärmiselt suurel määral, mõjutades sellega kogu süsteemi vastavust visuaalsele hinnangule. Paela 4BW peegelduse suur intensiivsus võrreldes sarnase hinde saanud P-302W-ga on tingitud 4BW suurest läbimõõdust ja ristlõikest.

Saadud graafiku alusel võib järeldada, et kõigist proovitud parameetritest andis parima korrelatsiooni visuaalse hinnanguga maksimaalsete intensiivsuste keskmine, mis on ilmselt mõõdetud tulemustest üks kõige kergemini ning kõige paremini läiget kirjeldav parameeter.

Toetudes saadud tulemustele, võib öelda, et on õnnestunud välja töötada reprodutseeritav meetod, mis suudab kvantitatiivselt kirjeldada saapapaelte läikivust ning võrrelda omvahel sarnaste struktuuridega paelu. Antud rakenduse puhul on aga

kõige olulisem tingimus, et mõõdetud tulemus ühtiks katsealuste subjektiivse hinnanguga, mida loodud metoodika ka suudab täita. Tehnoloogiainstituudi ja OÜ Haine paelavabriku ühisprojektis on selle peamine eesmärk objektiivsemalt hinnata erinevate järeltöötlusmeetodite tulemusi ning sellega aidata kaasa parimat läiget võimaldava meetodi või meetodite kombinatsiooni leidmisele.

4. KOKKUVÕTE

Käesoleva bakalaureusetöö eesmärgiks oli TÜTI ja OÜ Haine paelavabriku ühisprojekti raames töödeldud paelte läike mõõtmine. Tööks püstitatud eesmärgid:

1. Reprodutseeritava mõõtemetoodika loomine
2. Peegeldust mõõtva katseseadme koostamine
3. Erinevate paelte valguspeegelduse mõõtmine
4. Meetodi tulemuste ühtivus subjektiivse visuaalse hinnanguga

Kõik eesmärgid said täidetud, õnnestus luua reprodutseeritav meetod, mis mõõdab erinevalt tööstuslikest läikemõõtjatest ka mõningase pinnatopograafiaga naturaalsest puuvillast kingapaelte läikivust. Läikivuse mõõtmiseks valiti goniofotomeetriline meetod, kus pöördlaual asetsev detektor mõõdab paelalt peegeldunud valguse 180 kraadi ulatuses, et kindlasti registreerida peegelduse maksimum. Pealelangev valgus peab olema kindlasti kollimeeritud, et valguse hajumise põhjustaks pael, mitte valgusallikas, seega valiti valgusallikaks laserdiod. Välistamaks muude valgusallikate segavat kiirgust, kasutati valguse moduleerimiseks ja registreerimiseks *lock-in* võimendit. Paela terviklikuks hindamiseks on vaja palju mõõtepunkte, seega kasutati objekti nihutamiseks lineaarset aktuaatorit.

Et kontrollida metoodika universaalsust, teostati mõõtmised kaheksal erineval paelal. Kuna mõõdetud tulemused pidid ühtima visuaalse hinnanguga, viidi läbi küsitlus 10 inimese seas, kes hindasid kõigi kaheksa paela visuaalset kvaliteeti ja parimat läiget. Saadud tulemused kõrvutati ning saavutati küllaltki kõrge korrelatsioon kahe hinde aritmeetilise keskmise ja erinevate tsüklite maksimaalsete intensiivsuste aritmeetilise keskmise vahel, mis demonstreerib, et loodud metoodika võimaldab üsna heas lähenduses hinnata paelte läikivust ning võrrelda neid omavahel.

Loodud meetod on juba kasutuses erinevate projekti käigus töödeldud paelte võrdlemiseks ning läike hindamiseks. Osa tulemustest on plaanis vormistada teadusartikli käsikirjana.

5. QUANTITATIVE EVALUATION OF GLOSS ON WAXED COTTON LACES

The purpose of this study was to measure the gloss of different waxed cotton laces, which were processed during the collaboration project between the Institute of Technology and OÜ Haine Paelavabrik. Main goals that were set for this study were:

1. Creating a reproducible measuring method
2. Assembling a device for measuring reflectance
3. Measuring the reflectance of different shoelaces
4. Achieving good correlation between measured results and visual evaluation

All the goals were achieved, a successful and reproducible measurement method was created, which unlike commercial glossmeters, measures the reflectance of natural cotton shoelaces with somewhat greater texture. Final device configuration was goniophotometric, where the light detector was placed on a rotation stage. This was used in order to be sure that the maximum reflectance would be measured. To guarantee that the diffusion of light was caused by the shoelace, a laserdiode was chosen as the light source. To rule out any kind of external light, a lock-in amplifier was used, which modulated the laserdiode and registrated the reflected light at the same frequency. In order to evaluate the whole object, many different points had to be measured, so to scan the shoelace vertically, a linear actuator was used.

Measurements were conducted on eight different laces to confirm that the method is universal. Since the measured results have to be compatible with the visual assessments, a poll was conducted, where 10 subjects had to evaluate the overall visual quality and the best reflectance intensity on a scale from one to ten. The results were then compared and a high correlation between the arithmetic mean of measured maximal reflective intensity and the two poll values was achieved. This demonstrates that the proposed method allows us to compare and assess the gloss of different shoelaces with reasonable accuracy.

The method created is already in use to compare and evaluate the gloss of different shoelaces, which are treated during the collaboration project of the Institute of Technology and OÜ Haine Paelavabrik. A manuscript based on part of the results will be assembled for publication in a scientific journal

6. KASUTATUD KIRJANDUS






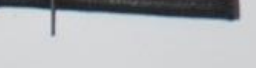

1. R. Ditteon, *Modern geometrical optics* (John Wiley & Sons, Inc. ,1997)
2. R.G.Quynn, E. J. Bernet, Earl K. Fischer, „Gloss Measurements on Fabrics“ Textile Research Journal 20, 492-509 (1950)
3. A. Sirikasemlert, X. Tao, „Effects of Fabric Parameters on Specular Reflection of Single-Jersey Knitted Fabrics“ Textile Research Journal 69, 663-675 (1999)
4. L.Fourt, R.M. Howorth, M. B. Rutherford, P. Streicher, „Improvement of Luster of Cotton : Part V: Fiber Shape in Relation to Luster“ Textile Research Journal 24, 156-163 (1954)
5. L.A. Jones, „The gloss characteristics of photographic papers“ Journal of the Optical Society of America 6, 140-145 (1922)
6. R.S. Hunter, „Methods of determining gloss“, Journal of Research of the National Bureau of Standards 18, 19-39 (1937)
7. <http://www.rhointinstruments.com/Gloss-Haze-DOI-Meter-20%C2%B0/60%C2%B0/85%C2%B0.html>, vaadatud 29.04.2013
8. L.E. Holboke, L.P.Berriman „A Study of the Effect of Cotton Fiber Structure on Luster“ Textile Research Journal 33, 205-217 (1963)
9. T.L.Ward, R.R.Benerito, „Correlation of Visual Luster with Measured Reflectance of Cotton Fabrics“ Textile Research Journal 35, 271-279 (1965)
10. L.Fourt, M.B.Rutherford „Improvement of Luster of Cotton : Part IV: Effect of Weaving Pattern on Luster in a Series of Bleached Cotton Fabrics“ Textile Research Journal 24, 67-72 (1954)
11. <http://www.swicofil.com/products/001cotton.html>, vaadatud 02.05.2013
12. D. Nickerson, „A New Cotton Lustermeter for Yarns and Fibers“ Textile Research Journal 27, 111-123 (1957)
13. L. Fourt, R. M. Howorth, M. B. Rutherford „Improvement of Luster of Cotton : Part III: Correlation of Visual and Physical Aspects of Luster“ Textile Research Journal 24, 61-66 (1954)
14. L. Fourt, P. Streicher, „Improvement of Luster of Cotton : Part II: Decrystallizing and Mercerizing--Influence on luster“ Textile Research Journal 23, 23-28 (1953)
15. <http://www.britannica.com/EBchecked/topic/545789/singeing> vaadatud 13.05.2013

16. IMS Labor "Tehnoloogiauring paelte vahatamise kvaliteedi parandamiseks"
Tartu Ülikooli Tehnoloogia Instituut, Tartu (2011)

7. LISAD

Lisa 1. Küsitluse ankeet

1. Hinnata iga paela visuaalset kvaliteeti skaalal 1-10.
2. Hinnata iga paela parima läike intensiivsust (1-10):

1. 	1. <input type="checkbox"/>	2. <input type="checkbox"/>
2. 	1. <input type="checkbox"/>	2. <input type="checkbox"/>
3. 	1. <input type="checkbox"/>	2. <input type="checkbox"/>
4. 	1. <input type="checkbox"/>	2. <input type="checkbox"/>
5. 	1. <input type="checkbox"/>	2. <input type="checkbox"/>
6. 	1. <input type="checkbox"/>	2. <input type="checkbox"/>
7. 	1. <input type="checkbox"/>	2. <input type="checkbox"/>
8. 	1. <input type="checkbox"/>	2. <input type="checkbox"/>

Lisa 2. Etalonkeha (metallist kaardikepp).



Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina _____ Tõnis Paara _____

(autori nimi)

(sünnikuupäev: _____ 24.11.1990 _____)

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

Puuvillaste paelte läike kvantitatiivne hindamine,

(lõputöö pealkiri)

mille juhendaja on _____ Tarmo Tamm, Koit Muring _____,

(juhendaja nimi)

- 1.1.reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;
- 1.2.üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu alates **31.05.2014** kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.
2. olen teadlik, et nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus/Tallinnas/Narvas/Pärnus/Viljandis, **29.05.2013**